



Université Mohamed Khider de Biskra
Sciences et technologie
Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité: Energetique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

TEGGAR Nesrine

Le : jeudi 17 septembre 2020

Etude de la convection d'un nano-fluide dans des microcanaux inclinés

Jury :

Mr	BACI Lamine	MCA	Université de Biskra	Président
Mr	BELGHAR Nourredine	Pr	Université de Biskra	Encadreur
Mr	MOUMMI Abdelhafid	Pr	Université de Biskra	Examineur

REMERCIEMENT

Je remercie, en premier lieu, notre ALLAH qui ai bien voulu-Je donner la force pour effectuer le présent travail.

Très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.

Nous exprimons nos profonds remerciements à mon encadreur Pr BELGHAR Nourredine pour son orientation et ses Précieux conseils et surtout pour sa patience.

Je tiens également à remercier chaleureusement Mr .DJHARA Houssam pour la collaboration fructueuse que nous avons eue, et pour ses nombreux conseils qui m'ont été d'un grand intérêt.

J'adresse mes sincères remerciements au Pr. A. MOUMMI et Dr.L.BACI pour l'intérêt qu'ils ont manifesté à ce mémoire, en acceptant de l'examiner

Je remercie chaleureusement tous les professeurs de génie mécanique qui ont contribué à mon formation.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma très chère mère et mon très cher père qui m'ont
Toujours soutenus durant toutes les périodes de vie,
que Dieu le tout puissant les protèges et les gardes.*

Mes frères : LAKHDARE, YAZANE

Mes sœurs : OLAI, Haizia, MALAK

Toute les amis a universitaire surtout mes amis :

*Maissa, Lamia, Kinza, Djihane, Nessrine, yacine,
Thamer, Badri, Rafik, Aymane....*

Mes amis à la city universitaire : Maraime, Nouria,

*Yasmine, Safa, Achouak, Ohanii, Asma, Zineb,
Imene, Nour han, Hanen, Fati, Noha...*

A toute la famille TEGGAR

A toute la promotion 2020

NESSRINE.

Sommaire

Sommaire

Résumés	
Dédicace	
Remerciements	
Sommaire.....	I
Liste de figures.....	V
Liste de tableau.....	IX
Nomenclature.....	X
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Synthèse bibliographique.....	3
------------------------------------	---

Chapitre II : Modélisation thermo-physique des nanofluides

II.1. Introduction.....	9
II.2. Généralité sur nano fluide.....	9
II.2.1. Définition	9
II.2.2. Préparation des nano fluide	11
II.2.3. Propretés thermophysique des nano fluides	12
II.2.3.1. Conductivité thermique (K).....	12
II.2.3.2. La fraction volumique (φ).....	13
II.2.3.3. La viscosité dynamique (μ).....	14
II.2.3.4. La masse volumique(ρ).....	15
II.2.3.5. La chaleur spécifique(C_p)	15

Sommaire

II.2.3.6. Le coefficient d'expansion volumique (β).....	16
II.2.4. Les application des nano fluides.....	16
II.2.5. Les avantages du nano fluides.....	17
II.2.6. Les inconvénients du nano fluides.....	17
II.3. Généralité sur le transfert de chaleur.....	17
II.3.1. Introduction	17
II.3.2. Transfert de chaleur par conduction.....	17
II.3.3. Transfert de chaleur par rayonnement.....	18
II.3.4. Transfert de chaleur par convection.....	18
II.3.5. Les nombres sans dimension.....	18
II.3.5.1. Nombre de Reynolds.....	19
II.3.5.2. Nombre de Prandtl.....	19
II.3.5.3. Nombre de Nusselt.....	19
II.3.5.4. Nombre de Grashof.....	20
II.3.5.5. Nombre de Rayleigh.....	20
II.4. Systèmes de refroidissement des composants électroniques.....	21
II.4.1. Définition d'échangeur à micro canaux.....	21
II.4.2. Classification du canal basée sur le diamètre hydraulique.....	21
II.4.3. Utilisation des micros canaux dans l'industrie.....	22
II.4.4. Refroidissement par liquide.....	22
II.4.5. Refroidissement par air.....	24
II.4.6. Refroidissement par convection naturelle	25
II.5. Le phénomène de convection	25

Sommaire

II.6. Refroidissement par les micros canaux.....	26
II.7. Refroidissement par les mini canaux.....	27
II.7. Conclusion	28

Chapitre III : Formulation mathématique

III. Modèle mathématique généralisé.....	29
III.1. Introduction.....	29
III.2.1. Equation de continuité.....	29
III.2.2. Equation de quantité de mouvement	30
III.2.3. Equation de conservation d'énergie	30
III.3. Modèle mathématique pour le cas étudié	30
III.3.1. La géométrie du problème étudié.....	30
III.3.2. Hypothèses simplificatrices dans notre étude	31
III.4. Equations du problème	32
III.4.1. Equations de continuité.....	32
III.4.2. Equations de quantité de mouvement.....	32
III.4.3. Equations de l'énergie.....	33
III.5. Conditions aux limites.....	33
III.6. Conclusion.....	34

Chapitre VI : Formulation Numérique

IV.1. Introduction.....	35
IV.2. Procédures du calcul.....	35
IV.2.1. Menu principale de logiciel ANSYS Workbench.....	35

Sommaire

IV.2.2. Création de la géométrie.....	36
III.2.3. Le maillage.....	43
III.2.4. Configuration.....	44
II.3.Conclusion.....	47

Chapitre V : Résultats et Discussions

V.1. Introduction.....	48
VI.2. la géométrie étudiée avec les conditions aux limites.....	50
VI.3. Résultats et interprétation.....	51
VI.3.1.Résultats pour le nano fluide (eau-CuO) avec différentes fractions volumique ($\varphi = 0, \varphi = 0.1, \varphi = 0.04,$) et un nombre de Reynolds $R_e = 200$	52
VI.3.2. Présentation des résultats du coefficient d'échange pour trois types de nano fluide:	
VI.4. Conclusion.....	58
Conclusion Générale.....	59

Bibliographique

Annexe

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

- **Chapitre I :**

FIGURE	LES TITRES	PAGES
Figure I.1	Ecoulement dans un canal à section rectangulaire	3
Figure I.2	Présentation de la géométrie du micro canal	6
Figure I.3	présentation type des composants électroniques	8

- **Chapitre II :**

FIGURE	LES TITRES	PAGES
Figure II.1	Nano fluides vue au microscope électronique: éthylène glycol + cuivre 0.5% ; eau + nanotube ; eau + alumine ; eau + or à 2 nm	10
Figure II.2	Exemple des nanofluides aqueux et opaques avec seulement 1% de nanoparticules de diverses nature	11
Figure II.3	Procèdes de synthèse de nano fluide en une seule étape (Argonne National Laboratory, USA)	12
Figure II.4	Quelques exemples de microstructures	21
Figure II.5	Principe de fonctionnement d'un caloduc	23
Figure II.6	Quelques exemples de caloducs	23
Figure II.7	Principe de fonctionnement des boucles fluide	24
Figure II.8	Refroidissement à air (ventilateurs)	24
Figure II.9	Phénomène de convection	25
Figure II.10	Refroidissement liquide à microcanaux.	27
Figure II.11	Refroidissement liquide à minicanaux	27

LISTE DES FIGURES

- **Chapitre III :**

FIGURE	LES TITRES	PAGES
Figure III.1	configuration du problème en question	31

- **Chapitre IV :**

FIGURE	LES TITRES	PAGES
Figure IV.1	Menu principal de workbench	35
Figure IV.2	Création d'une analyse (projet) en mécanique de fluide	36
Figure IV.3	Création d'un projet en mécanique de fluide	37
Figure IV.4	Création du modèle de la géométrie	37
Figure IV.5	Création du modèle (plan de vue)	38
Figure IV.6	Création du modèle (plan du vue incline avec un angle30°)	38
Figure IV.7	Création du modèle (plan du vue incline avec un angle30°).	39
Figure IV.8	plan de vue avec un angle estimé 30°	39
Figure IV.9	Création d'esquisse N°01.	40
Figure IV.10	Création d'esquisse N°02.	41
Figure IV.11	Définition des cotes du micro canaux un seul composant électronique Maintenant, nous allons Extursion1 pour Esquisse1 pour obtenir une géométrie en 3D	41
Figure IV.12	Création d'extrusion.	42
Figure IV.13	Schéma que nous avons après extrusion 2 et extrusion 3	42
Figure IV.14	Définition de la zone fluide.	43
Figure IV.15	Type de maillage sur la partie d'écoulement	44
Figure IV.16	Type de maillage général	44
Figure IV.17	La première fenêtre est obtenue lors de l'ouverture de fluent.	45

LISTE DES FIGURES

Figure IV.18	Conditions aux limites à propos les vitesses	45
Figure IV.19	Conditions aux limites à propos les températures	46
Figure IV.20	Création les données thermo-physique des nano fluide nouveau nanofluide.	46
Figure IV.21	Configuration du modèle par le solveur.	47

- **Chapitre V :**

FIGURE	LES TITRES	PAGES
Figure V.1	Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (Symmetry, flux).	50
Figure V.2	Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (Entrée, sortie).	51
Figure V.3	Présentation de la distribution de température pour $\varphi = 0$ (eau pure) $R_e = 200$.	52
Figure V.4	Présentation de la distribution de température pour $\varphi = 0.1$ (eau – CuO) $R_e = 200$.	53
Figure V.5	Présentation de la distribution de température pour des sections transversales pour $\varphi = 0$ (eau pure) $R_e = 200$.	53
Figure V.6	Présentation de la distribution de température pour des sections transversales pour $\varphi = 0.1$ (eau – CuO) $R_e = 200$.	54
Figure V.7	Présentation de la distribution de température pour des sections transversales pour $\varphi = 0.04$ (eau – CuO) $R_e = 200$.	54
Figure V.8	Présentation de la distribution du profil de la vitesse dans des sections transversales pour $\varphi = 0$ (eau pure) $R_e = 200$.	55
Figure V.9	Présentation de la distribution du profil de la vitesse dans des sections transversales pour $\varphi = 0.1$ (eau – CuO) $R_e = 200$.	55

LISTE DES FIGURES

Figure V.10	Présentation de la distribution du profil de la vitesse dans des sections transversales pour $\varphi = 0.04$ (eau – CuO) $R_e = 200$.	56
Figure V.11	Variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano fluides pour différents Reynolds	57
Figure V.12	illustration du nombre de Nusselt moyen en fonction les nano fluides pour différents Reynolds	57

Liste des tableaux

Liste des tableaux

- **Chapitre II :**

TABLEAU	LES TITRES	PAGE
Tableau II.1	Classification des canaux en fonction de leurs diamètres.	22

- **Chapitre III :**

TABLEAU	LES TITRES	PAGE
Tableau III.1	Dimensionnement de microcanal étudié	30

- **Chapitre V :**

TABLEAU	LES TITRES	PAGE
Tableau V.1	propriétés thermo physiques du nano fluide utilise	48
Tableau V.2	1 ^{er} Cas les propriétés de nano fluide $\varphi = 0$.	48
Tableau V.3	2 ^{eme} Cas les propriétés de nano fluide $\varphi = 0.01$	49
Tableau V.4	3 ^{eme} Cas les propriétés de nano fluide $\varphi = 0.04$.	49
Tableau V.5	propertes thermo physiques pour le nano fluide utilisé.	49
Tableau V.6	les propriétés de nano fluide (eau-Ag) pour $\varphi = 0.02$.	49
Tableau V.7	propertes thermo physiques pour le nano fluide utilise.	49
Tableau V.8	les propriétés de nano fluide (eau-Ag) pour $\varphi = 0.02$.	50
Tableau V.9	propertes thermo physiques pour le nano fluide utilise	50
Tableau V.10	les propriétés de nano fluide (eau-CuO) pour $\varphi = 0.02$.	50

Nomenclature

Nomenclature

C_p : La chaleur massique ($J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

g : Accélération de la pesanteur ($m \cdot s^{-2}$).

G_r : Nombre de Grachof.

h : Le coefficient d'échange par convection ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$).

K : La conduction thermique ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

L : Longueur totale de canal (mm).

m : La masse (Kg).

N_u : Nombre de Nusselt.

p : Pression du fluide (P_a).

P : Pression adimensionnelle.

P_r : Nombre de prandtl.

R_a : Nombre de Rayleigh.

R_e : Nombre de Reynolds.

S : Surface d'échange thermique.

T : La température($^{\circ}C$)ou (K).

T_a : Température de milieu environnant la surface (K).

T_p : Température au point considère de la paroi($^{\circ}C$).

T_s : Température de la surface(K).

T_0 : La température de référence.

u, v, w : Composantes de la vitesse dans les directions x, y, z ($m \cdot s^{-1}$).

U, V, w : Composantes de la vitesse adimensionnelle.

Nomenclature

V : Le volume(m^3).

x, y, z : Les coordonnées cartésiennes.

x, y, z : Les coordonnées adimensionnelles.

Symbole Grecque :

α : La diffusivité thermique($m^2 \cdot s^{-1}$).

β : Coefficient d'expansion thermique(K^{-1}).

ΔT : La différence de température.

ε : Facteur d'émission de la surface.

μ : La viscosité dynamique($N \cdot S \cdot m^{-2}$).

ν : La viscosité cinématique($m^2 \cdot s^{-1}$).

ρ : La densité($Kg \cdot s^{-3}$).

ρ_0 : La masse volumique fluide.

σ : Constante de Stéphan Boltzmann($W \cdot K^{-4} \cdot m^{-2}$).

φ : La fraction volumique.

ϕ : Le flux de chaleur.

Indice :

f : Fluide de base.

n_f : Nano fluide.

s : Nanoparticules.

t : Totale.

Introduction Générale

Introduction Générale

Grâce aux progrès technologiques réalisés dans le domaine de l'électronique, les composants ont l'avantage de devenir de plus en plus performants tout en étant de plus en plus petits. Dans ce contexte, les densités surfacique et volumique de chaleur à évacuer deviennent plus importantes. Dans de multiples marchés, tels l'Aéronautique, le Spatial, le Naval ou les systèmes informatiques, ces composants électroniques sont très abondants et dégagent une chaleur non négligeable lorsqu'ils sont en fonctionnement, ce qui peut les endommager. En effet, les plages de température des composants ne peuvent excéder un intervalle de -20°C à 40°C en fonctionnement [1].

L'amélioration du transfert de chaleur par convection est l'objet principal de plusieurs Travaux [2], Mais en retour, ce processus nécessite mais en contrepartie, ce procédé nécessite de nombreux efforts pour améliorer les échangeurs de chaleur dans de nombreux secteurs, nous avons donc dans notre étude un impact sur certains facteurs et leur étude afin de les améliorer.

Avec l'augmentation continue de la puissance dissipée par les composants et les systèmes Électroniques, le marché de l'électronique de puissance a besoin de nouvelles techniques de refroidissement plus robustes et plus fiables. Les techniques de refroidissement standards utilisées aujourd'hui sont parfois insuffisantes à cause des propriétés physiques des fluides caloporteurs et plus particulièrement à cause de leur faible conductivité thermique. D'où la nécessité de faire circuler un fluide dont les propriétés thermiques est plus élevée. Nous proposons, dans ce mémoire, de simuler le refroidissement des composants électroniques de puissance avec un nano fluide (fluide plus des nanoparticules).

Donc dans notre étude le mélange résultant du fluide et des nanoparticules a des propriétés Physiques et chimiques de base uniques. Il est désigné comme un nano fluide. Il est prévu que la présence des nanoparticules dans le nano fluide augmente sa conductivité thermique et améliore sensiblement ses caractéristiques de transfert de chaleur [3].

Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail consiste donc à l'étude numérique des transferts thermiques convectifs dans des limites la résolution et la discrétisation des équations par l'exploitation d'un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench et à déterminer

l'effet de certains paramètres dans le but d'améliorer le transfert de chaleur à l'intérieur des micros anneaux.

Cette étude illustre bien l'effet du transfert de chaleur dans des micros anneaux avec un angle d'inclinaison.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre du mémoire présente une synthèse bibliographique, à la Revue des principales investigations effectuée par les chercheurs dans le passé.
- Le second chapitre permettant une meilleure compréhension sur les nano fluides. Estimant les paramètres thermo-physiques, thermiques et hydrodynamiques, et de décrire les différents modèles de la littérature souvent utilisés pour l'estimation des propriétés thermo-physiques (conductivité thermique, viscosité dynamique, masse volumique...).
- Nous déterminerons à la suite dans le troisième chapitre, la modélisation mathématique conduisant à la mise en équation du problème des échanges thermiques de la configuration en question, avec l'hypothèse où le nano fluide est assimilé à un fluide incompressible de caractéristiques thermo physiques particulières.
- Le quatrième chapitre présente, les conditions aux limites choisies et la méthode numérique de résolution adoptée.
- Le cinquième chapitre traite des résultats de la simulation numérique de la configuration étudiée en 3D de la convection dans des micro canaux soumis à un flux de chaleur important. Nous avons utilisé pour cela le logiciel industriel ANSYS WORKBENCH, basé sur la méthode de volume finis

Enfin, la conclusion où nous relevons les points importants de nos résultats et les perspectives qu'elle offre.

Chapitre I :
Etude bibliographique

I.1.Synthèse bibliographique:

Cette partie est consacrée à la revue des principales investigations effectuée par le passé sur le refroidissement par l'usage des nano fluides dans des micro-canaux utilisant la convection libre (naturelle). Des différents travaux des auteurs sur la technique du refroidissement des micros canaux.

Mohammed Adjim et al (2007) [4]: Ont présenté une thèse de doctorat porte la modélisation numérique du transfert thermique dans les circuits de refroidissement à micro canaux. Un système typique de refroidissement à micro canaux se compose essentiellement d'un radiateur classique et d'une pompe branchée en circuit fermé avec une série de canaux microscopiques. L'objet à refroidir, qui consiste souvent en un circuit intégré de très haute puissance, peut être directement gravé dans le substrat constituant les micros canaux ou simplement attaché étroitement à ce dernier par collage ou autres procédés mécaniques. La chaleur est transmise par conduction à travers les micros canaux ensuite elle est transférée par convection au fluide de refroidissement. Le fluide caloporteur ainsi échauffé va être refroidi dans le radiateur classique monté en série pour être recyclé de nouveau. Le transfert de l'énergie calorifique entre le fluide chaud et le radiateur classique est effectué par convection forcée selon les méthodes classiques du transfert ensuite la chaleur est évacuée au milieu environnant par convection et/ou rayonnement thermique.

Charef Khodja Nabila et al (2009) [5]: Ont étudié numériquement le comportement thermique et hydrodynamique des transferts thermiques par convection forcée de l'eau circulant dans un micro-canal Rectangulaire de hauteur varient de $100 \mu m$ à 1 mm . Le nombre de Reynolds est compris entre 50 et 10000. La simulation a été effectuée à l'aide du code de calcul "Fluent" qui est basé sur la méthode des volumes finis. Les résultats des simulations obtenus sont en bon accord avec Les résultats expérimentaux (**Figure I.1**).

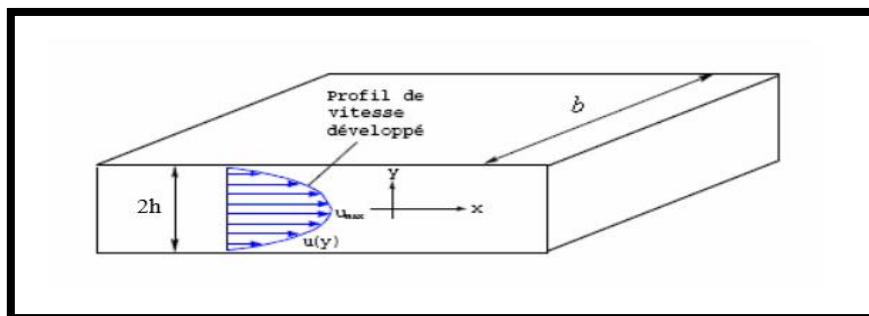


Figure I.1: Ecoulement dans un canal à section rectangulaire.

HALELFADL Salma et al (2014) [6]: Ont mené une étude expérimentale sur les propriétés thermo-physiques des nano fluides testés (conductivité thermique, viscosité dynamique, masse volumique) et sur les performances thermiques dans un échangeur de chaleur. Ont présenté également une analyse des résultats de façon à étudier l'influence des paramètres évoqués ci-dessus. Les résultats obtenus sont comparés et discutés vis-à-vis des modèles classiques existants, en proposant des améliorations et des interprétations selon les tendances obtenues.

Les résultats prometteurs de cette étude sont très encourageants et montrent que l'utilisation des nano fluides à base de nanotubes de carbone offre clairement une amélioration des performances thermiques par rapport aux fluides de base classiques. Les nano fluides à base de NTC peuvent constituer ainsi un débouché prometteur des transferts thermiques et présentent de bonnes perspectives et développement.

REZAIGUIA Issam et al (2014) [7] : Ont montré une augmentation importante de transfert de chaleur avec la fraction solide au détriment d'une chute de pression accrue, à savoir le coût de pompage élevé (donc une faible efficacité de refroidissement). Nous avons aussi trouvé que la géométrie de la section d'entrée du micro canal contribue considérablement aux valeurs des nombres de Nusselt et de chute de pression. Parmi les géométries testées (elliptique, rectangulaire, trapézoïdale). La section rectangulaire fournit le meilleur compromis entre le transfert de chaleur et l'augmentation des coûts de pompage. A la fin de l'étude, une comparaison a été faite entre les résultats obtenus en considérant la rhéologie Newtonienne et ceux obtenus avec un comportement rhéologique non-Newtonien du même échantillon nano fluide. Il a été constaté que l'hypothèse de comportement rhéologique non-Newtonien du nano fluide donne des valeurs plus élevées du nombre de Nusselt et des pertes de charge beaucoup plus faibles.

LEBBIHI Saci (2014) et al [8] : Ont a mené une simulation numérique de la convection naturelle stationnaire dans une enceinte carrée chauffée le bas par une source de chaleur et remplie d'un mélange d'eau et des nanoparticules de cuivre. Les équations gouvernantes ont été discrétisées par la méthode des volumes finis en utilisant un meilleur maillage gambit .Un code industriel fluent de calcul a été conçu et réalisé dans ce contexte pour utiliser la simulation numérique comme outil d'investigation. Les résultats sont analysés à travers les champs thermique et avec une attention particulière au nombre de Nusselt. Une

étude paramétrique a été menée en considérant le nombre de Rayleigh, la concentration du nano fluide.

MAMMERI Amrid (2014) et al [9]: Ont mené une étude la problématique des systèmes de refroidissement ou de contrôle thermique industriels. Ont particulièrement mis l'accent sur le refroidissement des serveurs informatiques. en l'étude des moyens d'amélioration des techniques de refroidissement existantes, tandis que est une réflexion sur des techniques de refroidissement alternatives potentiellement plus efficaces et répondant aux demandes actuelles du contrôle thermique industriel.et classification des techniques de refroidissement et a servi de base pour l'amélioration des technologies de refroidissement existantes et à la réflexion sur de nouvelles techniques plus efficaces.ont outil numérique et d'essais expérimentaux. Ont noté une augmentation des transferts de chaleur dans la plaque froide en utilisant des inserts, notamment ceux en forme de losange disposés en quinconce. A l'inverse, l'utilisation de certains nano fluides en tant que fluides caloporteurs ne semble pas apporter de gain significatif.ont détaillons la démarche suivie pour la conception d'un dissipateur de chaleur basé sur une technologie caloducs, destiné au refroidissement des cartes électroniques. En premier lieu, ont présentons le modèle thermo hydraulique de dimensionnement d'un caloduc cylindrique ; une étude paramétrique (géométrique, type de fluide,...) ont a permis d'identifier le jeu de paramètres donnant la meilleure performance du caloduc. En second lieu, ont évoquons Les tests réalisés sur le dissipateur de chaleur à caloduc qui ont amènent à valider en partie le modèle thermo hydraulique développé.ont Porte sur la réalisation et l'étude d'un démonstrateur pour le refroidissement des cartes électroniques par immersion dans un liquide à basse température de saturation. On commence par la mise en place et l'utilisation d'un modèle numérique pour la conception du démonstrateur, puis des tests expérimentaux sont réalisés. Les premiers résultats obtenus en utilisant le SES-36 comme fluide de travail sont assez prometteurs.

Elnadhirc Talbi (2016) et al [10]: ont étudié la simulation de la convection mixte laminaire dans une conduite bidimensionnelle verticale, en présence d'un nano fluide (Eau-Cuivre), pour différents nombre de Reynolds ($Re= 20, 40$ et 60), pour différents fraction volumique ($\Phi=0, 0.1$ et 0.2), et pour deux cas concernant la direction de l'écoulement, cas (1), écoulement descendant et cas (2) écoulement ascendant. Le nombre de Rayleigh est fixé pour cette étude, d'ordre $Ra=10^5$.Le problème a été abordé selon une approche numérique, basée sur la méthode des volumes finis en utilisant le code CFD « FLUENT ». L'influence de la direction de l'écoulement pour différents fractions volumiques et pour différents nombre de

Reynolds, a été investigué numériquement, par la détermination les contours des lignes de courant et des isothermes.

KROUMA Saadia et al (2017) [11] : Ont mené une étude de l'effet de la forme géométrique (sphérique et cylindrique) des nanoparticules d'un nano fluide dans le transfert de chaleur, on a proposé pour cette étude une note de calcul numérique dans le but de comparer l'effet de la forme géométrique sur le refroidissement des composants électroniques dans un micro canal, à cet effet on a utilisé un programme (logiciel) de simulation numérique ANSYS Workbench, dont les résultats obtenus ont montré que la modification de la géométrie des nanoparticules dans un fluide provoque une amélioration de l'échange thermique par convection **Figure I.2**.

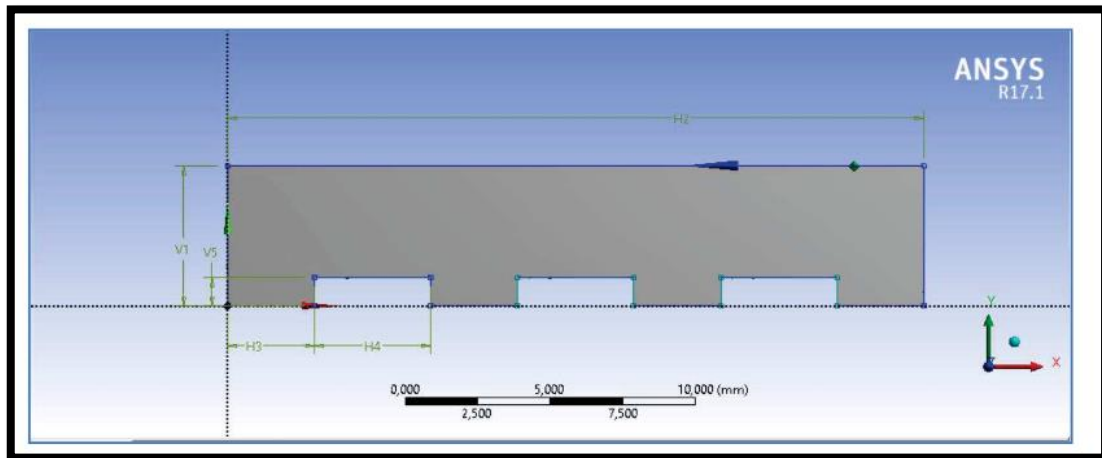


Figure I.2 : Présentation de la géométrie du micro canal.

BELAHMADI Essma et al (2018) [12]: Ont présentons l'étude des transferts thermiques convectifs avec nano fluide et génération d'entropie à l'intérieur de trois configurations choisies. Deux codes de calcul (Ansys-Fluent 14 et Fortran-Maison) ont été utilisés pour résoudre les équations aux dérivées partielles décrivant les écoulements de convection naturelle et mixte laminaire. Les résultats numériques obtenus par ces codes ont été validés avec ceux trouvés dans la littérature, et une bonne concordance a été obtenue. L'étude présentée dans cette thèse est divisée en trois parties.

La première partie de cette étude est consacrée à l'écoulement bidimensionnel dans un canal vertical à plaques parallèles parcouru par un nano fluide Cu-eau. Les effets des nombres de Reynolds, de Grashof et de la fraction volumique solide du nano fluide sur le transfert thermique et la génération d'entropie sont examinés en détail. Les résultats montrent que

l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules et les nombres adimensionnels (Re , Gr) améliore le taux de transfert de chaleur et diminue la génération d'entropie dans le canal. La seconde partie présente l'écoulement axisymétrique d'un nano fluide Al_2O_3 -eau entre deux cylindres coaxiaux verticaux. Les effets des nombres de Rayleigh, de Hartmann, d'angle d'inclinaison et de la fraction volumique solide des nanoparticules sur le transfert thermique et la génération d'entropie sont étudiés en détail. Les résultats révèlent que les taux du transfert de chaleur et de la génération d'entropie dépendent de l'intensité et de l'orientation du champ magnétique. En outre, dans tous les cas, le nombre de Nusselt moyen et la génération d'entropie totale augmentent en augmentant le nombre de Rayleigh et la fraction volumique des nanoparticules. La troisième partie s'inscrit sur les transferts de chaleur, en régime permanent, dans un conduit cylindrique horizontal, parcouru par un écoulement tridimensionnel d'un nano fluide soumis à un flux de chaleur à la paroi. Les effets des nombres de Richardson, de Hartmann, de la fraction volumique solide du nano fluide et de la direction du champ magnétique sur le transfert thermique et la génération d'entropie sont examinés en détail. Les résultats indiquent que les taux du transfert de chaleur et de la génération d'entropie dépendent de l'intensité et de la direction du champ magnétique. En plus, l'augmentation du nombre de Richardson et de la fraction volumique des nanoparticules augmente le transfert de chaleur et la génération d'entropie. Enfin, l'application d'un champ magnétique radial favorise un meilleur échange thermique convectif et minimise la génération d'entropie.

ABDEDDAIM Amel et al (2019) [13] : dans cette étude un calcul numérique dans le but de comparer l'effet du nano fluide ,nombre de composant électronique et le nombre de Reynolds sur le refroidissement des composants électroniques dans un micro canal, à cet effet on a utilisé un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench, dont les résultats obtenus ont montré que l'augmentation des composants électronique nécessite l'augmentation du nombre de Reynolds, qui provoque une amélioration de l'échange thermique dans un nano fluide, par convection **Figure I.3**.

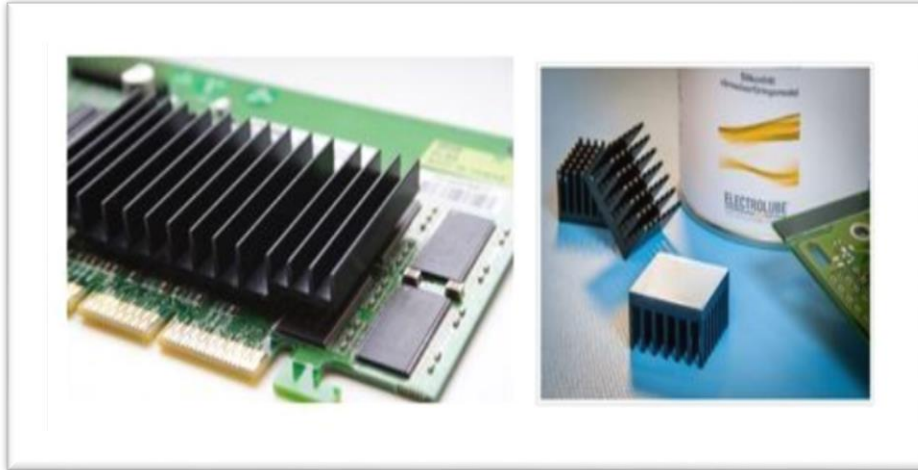


Figure I.3 : présentation type des composants électroniques.

Chaleur total dépassé est également analysé par rapport aux conditions optimales quant aux restrictions technologiques.

Chapitre II :
Modélisation thermo-physique
des nanofluides

II.1. Introduction :

Les efforts visant à améliorer les échangeurs thermiques dans de nombreux secteurs industriels (automobile, électronique...) nécessitent l'intensification des transferts de chaleur par convection thermique. De nouvelles voies de progrès doivent donc être étudiées. L'utilisation des nano fluides en tant que fluide thermique est un nouveau domaine encore en phase de recherche. L'influence d'un certain nombre de paramètres, tels que la taille et la forme, les phénomènes aux interfaces entre liquide et particules, sont encore mal compris et caractérisés. Au final, le succès du développement d'un nano fluide industriel demande la résolution simultanée de plusieurs aspects, à commencer par l'amélioration du coefficient d'échange thermique. [14]

II.2. Généralités sur les nano fluides :

II.2.1. Définition :

Les nano fluides sont des dispersions de particules de taille nanométrique (dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm), appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés.

Dans le cas des fluides caloporteurs, un des premiers paramètres à prendre en compte afin d'évaluer le potentiel d'échange de chaleur est la conductivité thermique. Or, les fluides les plus employés tels que l'eau, l'huile ou l'éthylène-glycol (EG) ne disposent que d'une conductivité thermique faible par rapport à celle des solides cristallins.

Avec les nano fluides, l'idée est alors d'insérer, au sein du fluide de base, des nanoparticules afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange.

L'idée d'améliorer les propriétés thermiques de fluides par l'adjonction de particules n'est pas nouvelle, mais l'utilisation de particules de taille nanométrique permet potentiellement de minimiser considérablement les problèmes d'érosion et de sédimentation rencontrés avec les particules de taille plus élevée. De plus, certains auteurs ont mis en avant des performances thermiques améliorées en conductivité thermique et en échange thermique liquide et liquide/vapeur dues à la taille nanométrique **Figure II.1 [8]**.

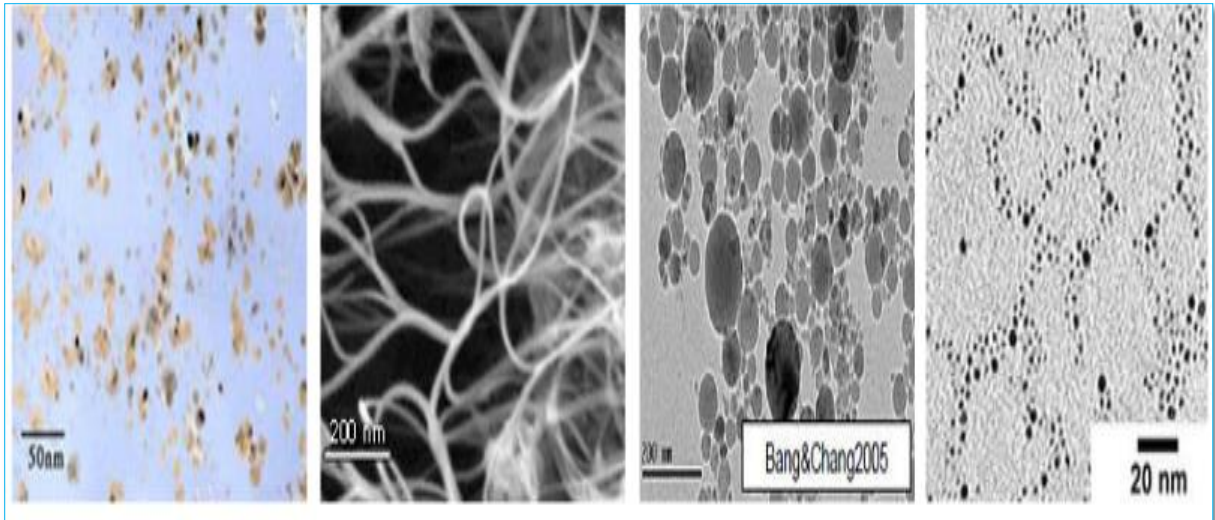


Figure II.1 : Vue au microscope électronique: éthylène glycol + cuivre 0.5% ; eau + nanotube ; eau + alumine ; eau + or à 2 nm [20].

Les nanoparticules les plus utilisées pour obtenir des nano fluides sont:

Les nanoparticules métalliques:

- L'aluminium, Al.
- Le cuivre, Cu.
- L'argent, Ag.
- La silicone, Si.

Les nanoparticules non métalliques :

- Les nanotubes de carbone, CNT.
- Le diamant, C.

Les nanoparticules des oxydes métalliques :

- L'oxyde d'aluminium, Al_2O_3 .
- L'oxyde de cuivre, CuO.

Les liquides de base les plus utilisés sont:

- L'eau.
- L'éthylène-glycol, EG.
- Les huiles. [15]

✚ Pour notre étude nous avons choisie l'eau comme liquides de base

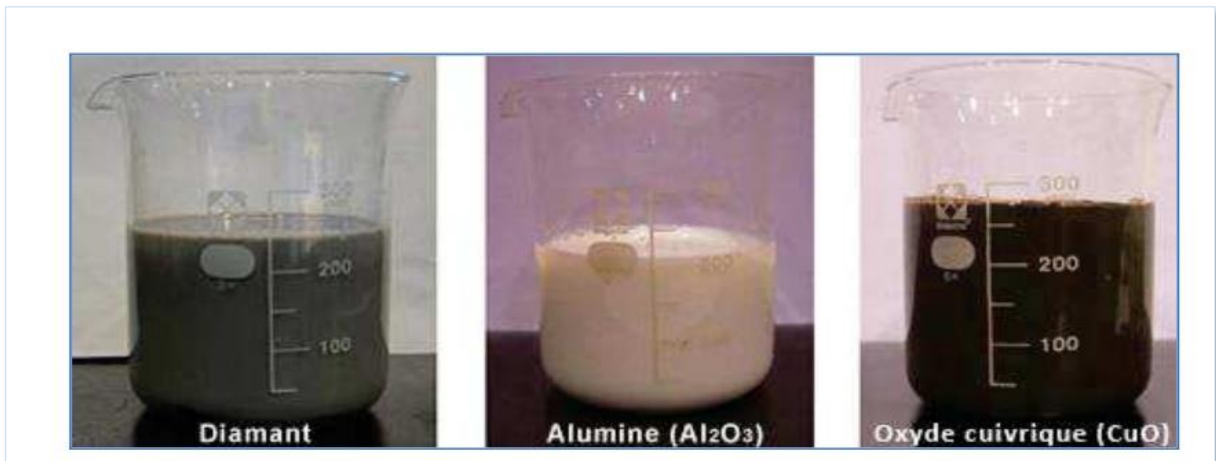


Figure II.2 : Exemple des nanofluides aqueux et opaques avec seulement 1% de nanoparticules de diverses nature. [11]

II.2.2. Préparation des nano fluides :

Les procédés de fabrication de nanoparticules sont nombreux. Ils peuvent être classés en deux catégories

- Les procédés physiques, comme le broyage mécanique.
- Les procédés chimiques, comme la pyrolyse laser ou la précipitation chimique. En outre, il existe deux méthodes principales pour produire des nano fluides

➤ **La méthode en deux étapes :** Consiste à produire dans un premier temps les nanoparticules, puis à les disperser dans le fluide de base. Pour permettre une bonne dispersion, une forte action mécanique à l'aide d'un agitateur rotatif ou d'ultrason est souvent nécessaire afin de briser agglomérant. En outre, pour éviter l'agglomération due aux forces d'attraction entre les particules, on utilise des forces de répulsion électrostatique en chargeant la surface des particules en adaptant le pH. On peut également utiliser les forces de répulsion stérique à l'aide de molécule adsorbé ou greffées sur la surface.

➤ **La méthode en une seule étape :** Consiste à produire les nanoparticules dans le fluide de base. Moins industrielle, elle n'est utilisable que pour certains nano fluides mais permet d'éviter l'agglomération et plus la conductivité thermique du mélange est améliorée. Néanmoins, pour une famille de nano fluides donnée, les résultats de littérature présentent une dispersion assez forte. Cette dispersion peut être attribuée au mode de synthèse des nano fluides et/ou à la méthode de mesure.

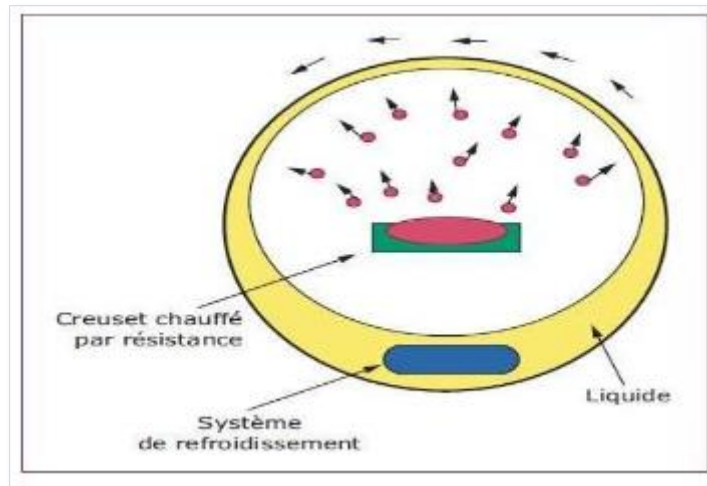


Figure II.3 : Procèdes de synthèse de nanofluides en une seule étape (Argonne National Laboratory, USA) [10].

II.2.3. Propriétés thermo physiques des nano fluides :

Les propriétés thermo physiques (conductivité thermique, viscosité dynamique et cinématique, capacité thermique massique, etc.) des solutions sont profondément modifiées par l'ajout de nanoparticules et un grand nombre de paramètres peuvent avoir un effet non négligeable sur cette déviation (le matériau, la taille, le rapport d'aspect, la concentration des particules en suspension, la conductivité du fluide de base, la température du milieu, etc.).

II.2.3.1. Conductivité thermique :

La conductivité thermique, notée λ (W/m.K), est la capacité d'un matériau de conduire ou de Transmettre de la chaleur. C'est une propriété très importante pour l'amélioration des Performances thermiques d'un fluide caloporteur. La synthèse des nano fluides répond au Besoin d'améliorer et d'amplifier la conductivité thermique des liquides. Aussi, de nombreux Travaux ont été menés pour mesurer mais aussi prédire et expliquer cette amélioration.

✚ Modèles théoriques :

Il existe plusieurs modèles théoriques permettant d'estimer, sous certaines conditions, la Conductivité thermique des suspensions. Nous présenterons dans cette partie les modèles les Plus utilisés dans le cas des nano fluides.

a. Modèle de Maxwell :

Maxwell fut le premier à dériver un modèle pour estimer la conductivité thermique d'une suspension contenant des particules [MAX/1881]

$$K_{nf} = \frac{K_s + 2K_f + 2(K_s - K_f)\varphi}{K_s + 2K_f - (K_s - K_f)\varphi} K_f \quad (\text{II.1})$$

Où

K_{nf} : La conductivité thermique du nano fluide.

K_f : La conductivité thermique du fluide de base.

K_s : La conductivité thermique des particules solides.

b. Modèle de Hamilton & Crosser :

Le modèle de Hamilton-Crosser [HAM/1962] est une extension du modèle de Maxwell, qui Tient compte de la forme des particules. En effet, pour prendre en compte la non-sphéricité des Particules (cas des NTC), ce modèle intègre un facteur géométrique appelé sphéricité, et noté Ψ , faisant référence à la géométrie sphérique. Ce coefficient est défini comme étant le rapport de l'aire d'une sphère de même volume que la particule sur l'aire de cette même Particule.

$$K_{nf} = \frac{K_s + (n-1)K_f - (n-1)(K_f - K_s)\varphi}{K_s + (n-1)K_f + (K_f - K_s)\varphi} K_f \quad (\text{II.2})$$

n est un facteur de forme empirique donné par : $n = \frac{3}{\psi}$

Ce modèle peut être utilisé lorsque la conductivité thermique des particules est au moins 100 Fois plus élevée que celle du fluide de base [HAM/1962]. [6]

c. Modèle de Yu et choi :

La relation entre Yu et Choi est une autre expression de la conductivité thermique, qui était en 2003. Les particules liquides et solides étaient considérées comme une base séparée avec une couche nanométrique d'un modèle en nano fluides. Cette couche est un pont thermique entre nanoparticules et liquides. Ce modèle est donné comme suit:

$$K_{nf} = \frac{K_s + 2K_f + 2(K_s - K_f)(1 + \beta)^3 \varphi}{K_s + 2K_f - (K_s + K_f)(1 + \beta)^3 \varphi} K_f \quad (\text{II.3})$$

β est le rapport de l'épaisseur de la couche nanométrique sur le rayon des particules.

II.2.3.2. La fraction volumique (φ) :

La fraction volumique est un rapport sans dimension entre deux volumes, le volume de solide ou particule (nanoparticules) sur le volume total (nanoparticules + fluide de base). La valeur de la fraction volumique est variée entre 0 (fluide de base pure) et 1.

La fraction volumique. est donnée par la relation suivant :

$$\varphi = \frac{\text{Volume solide}}{\text{Volume total du nanofluide}} = \frac{V_s}{V_s + V_f} \quad (\text{II. 4})$$

V_s : Volume des nanoparticules solides [m^3].

V_f : Volume du fluide de base [m^3].

II.2.3.3. Viscosité dynamique (μ) :

La viscosité peut être défini comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement. On peut donc parler de la viscosité comme étant une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient la viscosité dynamique du nano fluide qui peut être influencé énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température.

Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base et la fraction volumique du nano fluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux Modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

a. Modèle d'Einstein :

La viscosité dynamique d'un nano fluide est donnée par Einstein (1906) pour un mélange Contenant des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides est la suivantes :

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 2,5\varphi) \quad (\text{II. 5})$$

μ_{nf} : La viscosité dynamique du nano fluide.

μ_f : La viscosité dynamique du fluide de base.

φ : La fraction volumique des nanoparticules.

Cette relation est valable juste pour $\varphi=0.03$.

b. Modèle de Brinkman :

Par contre, Brinkman (1952) a étudié la formule d'Einstein pour couvrir une large plage de Concentrations volumiques.

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \varphi)^{2,5}} \quad (\text{II. 6})$$

Remarque: Pour les faibles fractions volumiques, la relation de Brinkman conduit exactement à celle d'Einstein. Ces relations n'intègrent pas les effets du mouvement Brownien ni ceux de la taille des particules.

II.2.3.4. La masse volumique (ρ) :

La détermination de la masse volumique d'un nano fluide parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique à une température donnée, se fait à partir de la définition de la masse volumique d'un mélange.

Dans le cas d'un mélange, la masse volumique est donnée par la relation suivante:

$$\rho_{nf} = \left[\frac{m}{v} \right]_{nf} = \frac{m_f + m_s}{V_f + V_s} = \frac{\rho_f V_f + \rho_s V_s}{V_f + V_s} \quad (\text{II. 7})$$

A partir de la relation (I.1), on déduit alors la masse volumique du nano fluide:

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_s \quad (\text{II. 8})$$

ρ_{nf} : La masse volumique du nano fluide.

ρ_f : La masse volumique du fluide de base.

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules.

II.2.3.5. Chaleur spécifique :

La chaleur massique ou la chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène $C_p = dQ/mdT$. La chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nano fluide, on peut citer les deux modèles suivantes:

A. Modèle du Pak et Cho :

Pak et Cho (1998) ont utilisé la formule suivante:

$$(C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(C_p)_f + \varphi(C_p)_s \quad (\text{II. 9})$$

B. Modèle du Xuan et Roetzel :

Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé la formule suivante:

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_f + \varphi(\rho C_p)_s \quad (\text{II. 10})$$

II.2.3.6. Coefficient d'expansion volumique (β) :

Pour calcul la valeur de ce coefficient pour les nano fluides, de très nombreux auteurs ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nano fluides et par analogie avec la relation.

(I.12) $[\rho]$, on déduit l'expression suivante:

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi)\beta_f + \varphi\beta_s \quad (\text{II. 11})$$

Où

β_{nf} : Le coefficient de dilatabilité du nanofluide.

β_f : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

β_s : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules. [8]

II.2.4. Les applications des nano fluides :

Les nano fluides sont caractérisés par des applications dans divers domaines, notamment Industriels et technologiques. Comme la dispersion de nanoparticules joue un rôle efficace Dans l'effet magnétique, notamment en imagerie médicale, ainsi que dans l'effet électrique. Les nano fluides sont également utilisés dans le refroidissement de composants électriques et électroniques, de voitures, de radars ...Les nano fluides sont appliqués dans le domaine des énergies renouvelables pour augmenter le transfert de chaleur du capteur solaire vers les réservoirs de stockage et pour augmenter la densité énergétique .Ainsi que son applicabilité dans la plupart des industries manufacturières, telles que les matériaux, les aliments et les boissons, la production chimique, le pétrole et le gaz. Les autres applications:

- ❖ L'échangeur de chaleur
- ❖ Le refroidissement d'éléments électroniques (produire un nano fluide stable qui est compatible avec des circuits et des composants électroniques).
- ❖ Nanoparticules pour l'efficacité des réfrigérateurs (formulation de lubrifiants et liquides de refroidissement mélangés avec des nanoparticules pourraient entraîner une augmentation de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs).
- ❖ Aéronautique et spatial.
- ❖ Refroidissement des systèmes nucléaire.
- ❖ Transport (gestion de refroidissement / Véhicule moteur thermique).
- ❖ Autres applications (piles à combustible, le chauffage solaire d'eau, forage, stockage thermique). [12]

II.2.5. Les avantages du nano fluides :

- ❖ Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.
- ❖ Haute dispersion et stabilité avec prédominante mouvement brownien des particules.

- ❖ Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.
- ❖ Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant Ainsi la miniaturisation du système.
- ❖ Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.

II.2.6. Les inconvénients du nano fluides :

- ❖ Fortes pertes de charge.
- ❖ Erosion.
- ❖ Sédimentation.
- ❖ Bouchons dans les écoulements.
- ❖ Le coût élevé des nano fluides.
- ❖ Difficultés dans le processus de production. [16]

II.3. Généralité sur le transfert de chaleur :

II.3.1. Introduction :

Le transfert de chaleur est un processus d'une grande importance dans le domaine l'industrie et des technologies. Bien qu'il manifeste sous diverses formes (rayonnement, conduction et convection), cette dernière est la plus visée certains domaines bien spécifiés tels que le refroidissement des processeurs et des composantes électroniques, les radiateurs et les échangeurs de chaleur, etc. [10]

II.3.2. La conduction :

La conduction représente le processus de propagation de la chaleur par le contact direct entre les particules d'un corps ou entre des corps ayant des niveaux énergétiques -donc des températures -différents, suite au mouvement de ces particules élémentaires. Le Flux thermique conductif qui traverse un composant dépend de sa géométrie, de son épaisseur, du matériau ainsi que de la différence de température au travers le composant. La transmission est provoquée par la différence de température entre deux régions d'un milieu en contact physique. Il n'y a pas de déplacement appréciable des atomes ou molécules.

II.3.3. Le rayonnement :

Lorsqu'une surface chaude est entourée par des surfaces froides comme les parois de la structure, il existe un refroidissement par radiation. Ce refroidissement par radiation dépend de l'émissivité du matériau qui compose la surface chaude. L'émissivité d'un matériau (souvent écrite ε) est un nombre sans dimension. Elle rend compte de la capacité d'un matériau à émettre de l'énergie par rayonnement. Plus cette émissivité est proche de 1, plus le matériau radiera de chaleur.

II.3.4. La convection :

Le phénomène de convection se réfère au transfert thermique qui a lieu dans les fluides liquides ou gaz en mouvement. La convection est le processus de transfert thermique déterminé par le mouvement des particules élémentaires d'un fluide entre des zones ayant des températures différentes. Ce mouvement entraîne un mélange intense des particules fluides, qui échangent de l'énergie (chaleur) et de la quantité de mouvement (impulse) entre elles.

On distingue deux types de convection par la suite

+ La convection naturelle :

En convection naturelle, les mouvements des particules de fluide ont pour origine les différences de masse volumique induites par un gradient de température imposé, en présence du champ de gravités.

+ La convection forcée :

La convection forcée dans la quelle le mouvement est provoqué par un procédé mécanique (pompe, ventilateur, etc.) indépendant des phénomènes thermiques, c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide.

+ La convection mixte :

La convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et forcée) quand les vitesses d'écoulement, fictives, dues aux deux types de convections sont considérées séparément, du même ordre de grandeur. [17]

II.3.5. Les nombres sans dimension :

L'étude des problèmes de transfert de chaleur par convection implique la résolution d'équations différentielles qui décrivent la mécanique des fluides, les échanges d'énergie, les transferts de masse. Ces équations sont généralement liées et difficiles à résoudre théoriquement, ce qui conduit à associer à la théorie l'expérimentation permettant de trouver les valeurs des grandeurs recherchent.

L'expérimentation est souvent menée à une échelle différente de la réalité industrielle. La nécessité de définir des corrélations qui soient applicables à des appareils de tailles différentes opérant dans des situations différentes conduit à l'utilisation de paramètres adimensionnels qui permettent de définir des similitudes.

On peut déterminer les nombres sans dimensions en considérant toutes les forces qui peuvent s'appliquer sur un fluide. Ainsi, on a défini les forces et leurs unités de mesure dans le système international [SI] par rapport aux variables fondamentales :

- Les forces d'inertie : $F_a = ma$ $[F_a] = \rho L^2 V^2$
- les forces de viscosité : $F_\mu = \tau s$ $[F_\mu] = \mu L V$
- Les forces de gravité : $F_g = mg$ $[F_g] = \rho g L^3$

II.3.5.1. Nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds est proportionnel au rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité. Il peut être exprimé comme

$$\frac{F_a}{F_\mu} = \frac{\text{forces d'inertie}}{\text{forces de viscosité}} \quad (\text{II. 12})$$

$$\frac{F_a}{F_\mu} = \frac{\rho L^2 V^2}{\mu L V} = \frac{\rho V L}{\mu} = Re \quad (\text{II. 13})$$

Où V : La vitesse moyenne [m/s].

L : La longueur caractéristique [m].

Le nombre de Reynolds permet de quantifier les écoulements laminaires et turbulents. Les écoulements à nombre de Reynolds élevé sont générale turbulents, alors que les écoulements où les forces d'inertie sont faibles par rapport aux forces visqueuses sont plus souvent laminaires.

II.3.5.2. Nombre de Prandtl :

Le nombre de Prandtl est proportionnel au rapport entre le diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité thermique. Il caractérisé l'importance relative des effets thermiques et visqueux.

Il peut être exprimé comme:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (\text{II. 14})$$

II.3.5.3. Nombre de Nusselt :

Le nombre de Nusselt est proportionnel au rapport entre le transfert thermique total et

Le transfert par conduction.

Il peut être exprimé comme :

$$Nu = \frac{hL}{K} \quad (\text{II. 15})$$

Où h : Le coefficient d'échange thermique [$\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

II.3.5.4. Nombre de Grashof :

Le nombre de Grashof est proportionnel au rapport entre les forces de gravité par les forces visqueuse.

Il peut être exprimé comme :

$$\frac{F_g}{F_\mu} = \frac{\text{forces de gravité}}{\text{forces de visqueusité}} \quad (\text{II. 16})$$

$$\frac{F_g}{F_\mu} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_c^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad (\text{II. 17})$$

Où g : L'accélération de la pesanteur [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

ΔT : La différence de température [$^\circ\text{C}$].

II.3.5.5. Nombre de Rayleigh :

Le nombre de Rayleigh est proportionnel entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la trainée visqueuse par le taux de diffusion thermique.

Il peut être exprimé comme:

$$Ra = \frac{g}{\nu\alpha} (T_s - T_\infty) L_c^3 = Gr \cdot Pr \quad (\text{II. 18})$$

Où T_s : La température de la paroi [$^\circ\text{C}$].

T_∞ : La température du fluide loin de la paroi [$^\circ\text{C}$].

ν : La viscosité cinématique = $\frac{\mu}{\rho}$ [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

α : La diffusivité thermique = $\frac{K}{\rho C}$ [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

- L'élément perturbateur : poussée d'Archimède.
- Les éléments stabilisateurs : la viscosité et la conductivité thermique
- ✓ Si $Ra < 1710 = Ra_c$, l'écoulement est stable.
- ✓ Si $Ra \geq 1710$, apparition des rouleaux de Bénard.

Ra_c étant la valeur critique de Rayleigh dans une couche horizontale infinie. [10]

II.4. Systèmes de refroidissement des micros canaux :

II.4.1. Définition d'échangeur à micro canaux :

Les échangeurs à micro canaux/microstructures constituent donc une méthode innovante pour le transfert de grosses puissances thermiques issues de petites surfaces vers un fluide caloporteur. L'échangeur est couramment fabriqué dans un matériau à haute conductivité thermique comme l'aluminium, le cuivre ou le silicium. Ils ont fabriqué un échangeur de $1 \times 1 \text{ m}^2$ en silicium, composé de canaux et d'ailettes de 0.05 mm de largeur pour une hauteur de 0.3 mm , soit 50 canaux en tout.

Voici ci-dessous, quelques exemples de photos des microstructures, prises au microscope électronique, pour montrer la diversité qui existe. Cela illustre bien la difficulté d'étudier et de concevoir de si petits systèmes ($1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$) :

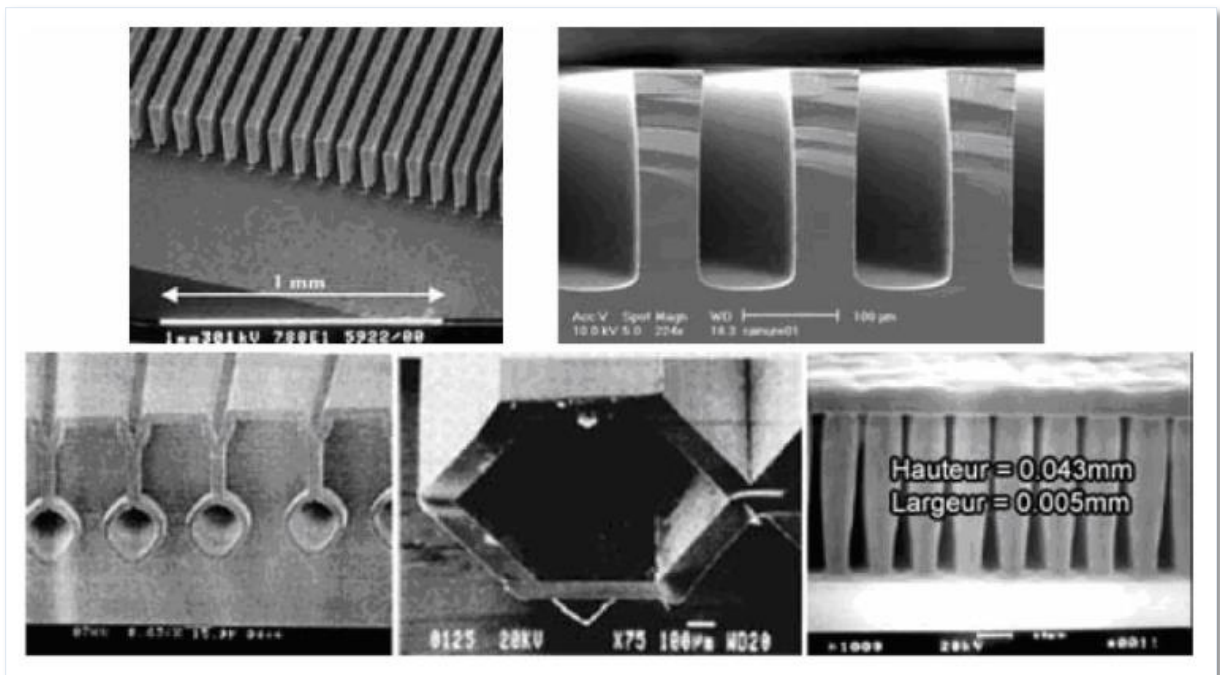


Figure II.4 : Quelques exemples de microstructures. [18]

II.4.2. Classification du canal basée sur le diamètre hydraulique :

Les différentes microstructures sont classées par ordre de grandeur du diamètre D_h des canaux. A proposé la classification suivante :

Canaux conventionnels	$D_{hy} > 3 \text{ mm}$
Mini-canaux	$3 \text{ mm} \geq D_{hy} > 0.2 \text{ mm}$
Microcanaux	$200 \mu\text{m} \geq D_{hy} > 10 \mu\text{m}$
Canaux transitionnels	$10 \mu\text{m} \geq D_{hy} > 0.1 \mu\text{m}$
Nano-canaux moléculaires	$0.1 \mu\text{m} \geq D_{hy}$

Tableau II.1 : Classification des canaux en fonction de leurs diamètres. [4]

II.4.3. Utilisation des micros canaux dans l'industrie :

Dans les années actuelles, les principales industries telles que l'aéronautique, l'automobile et électronique sont le moteur du développement de la technologie de gestion thermique compacte efficace pour les dispositifs électroniques de pointe capables d'augmenter la vitesse de traitement des Données. Les micros canaux sont des éléments de refroidissement compacts qui peuvent fournir une augmentation des taux de dissipation de la chaleur et une réduction des gradients de température au sein des composants électroniques. En raison de ses performances à dissiper les quantités importantes de chaleur produites par les processeurs ou d'autres petits appareils électroniques, le dissipateur de chaleur à micro canaux (DCMC) a reçu l'attention de nombreuses études au cours des dernières décennies. [7]

II.4.4. Refroidissement par liquide :

- **Le caloduc**

Un caloduc est un conducteur thermique, bien plus efficace que les métaux, servant à transporter la chaleur d'une source chaude vers une source froide, par le principe de changement de phase d'un fluide caloporteur.

Le principe du caloduc est basé sur la circulation d'un liquide en équilibre avec sa vapeur entre une région chauffée, l'évaporateur, et une région refroidie, le condenseur, le tout en l'absence d'air. Alors que la vapeur se déplace grâce à la différence de pression entre l'évaporateur et le condenseur, le condensat retourne alors vers l'évaporateur sous l'effet de forces. La circulation de ce liquide est induite soit par effet de la gravitation, soit par effet Capillaire. [11]

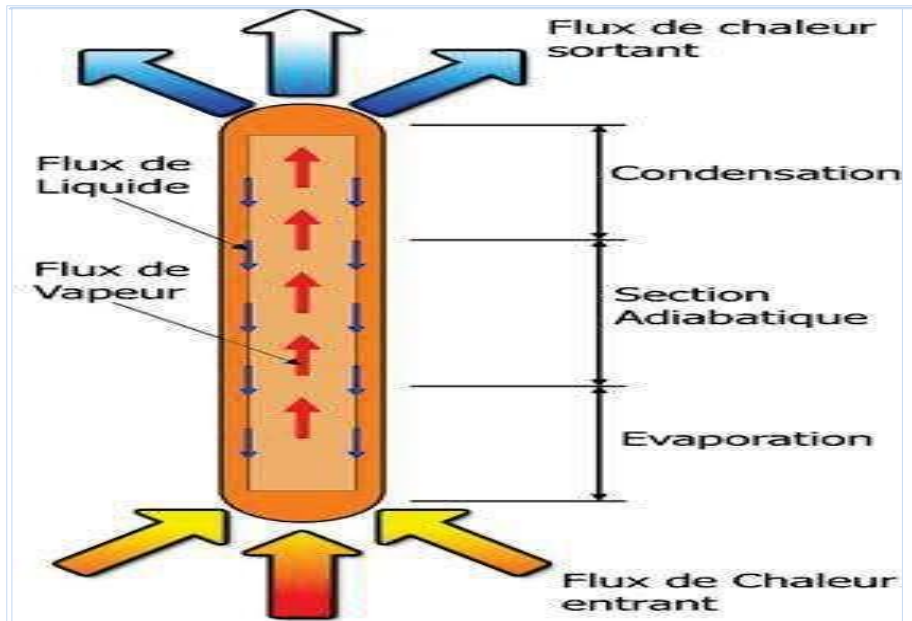


Figure II.5 : Principe de fonctionnement d'un caloduc. [11]

Lorsqu'ils sont correctement dimensionnés, les caloducs offrent une conductivité thermique bien plus élevée (jusqu'à $200000\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) que les métaux usuels, Ex : cuivre : $386\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$



Figure II.6 : Quelques exemples de caloducs. [19]

- **La boucle fluide diphasique à pompage mécanique**

Ce système est composé d'un ou plusieurs évaporateurs et condenseurs ainsi que d'une pompe permettant la circulation du liquide. Les composants électroniques à refroidir sont placés à proximité de l'évaporateur de la boucle puis le liquide saturé issu de la pompe soutire de la chaleur aux composants. Le liquide devient donc vapeur à partir de la température de saturation, ce qui augmente d'autant plus l'efficacité des transferts thermiques. La vapeur arrive ensuite au condenseur par le biais de la pompe, ce qui permet la liquéfaction de celle-ci. [11]

- **la boucle fluide monophasique à pompage mécanique**

La boucle fluide monophasique utilise la chaleur du fluide caloporteur. Ce dernier absorbe la puissance dissipée par les équipements puis la rejette en se refroidissant dans un radiateur sans changer de phase. Le fluide est mis en mouvement par un système de pompage mécanique mais qui peut présenter l'inconvénient d'une durée de vie courte, peu souhaitable lors d'une mission satellitaire. [11]

- **la boucle fluide diphasique à pompage capillaire**

Tel le caloduc, ce type passif de boucle fluide utilise les propriétés de changement de phase d'un fluide caloporteur, mais permet le transport de chaleur sur une plus grande distance pouvant aller jusqu'à une dizaine de mètres. Le fluide est mis en mouvement grâce aux forces capillaires s'exerçant au sein d'un milieu poreux. [11]

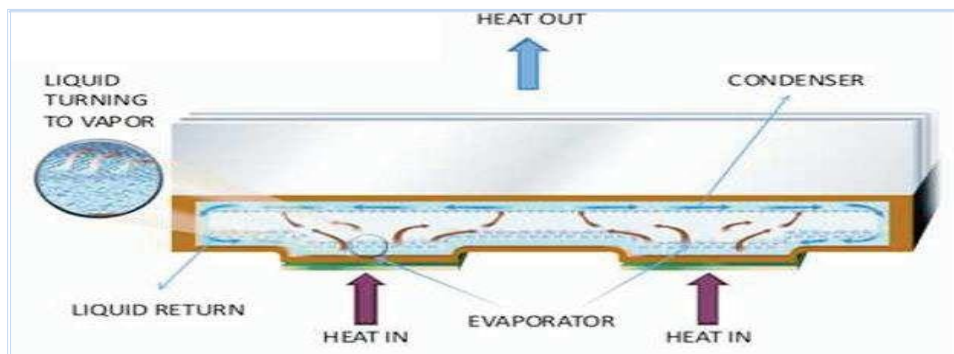


Figure II.7 : Principe de fonctionnement des boucles fluide. [19]

II.4.5. Refroidissement par air :

L'avantage du refroidissement de composants par un débit d'air incident par rapport aux caloducs est sa facilité de mise en place, sa fiabilité ainsi que son faible coût. En effet, le refroidissement par liquide peut endommager les composants si une fuite venait à se déclarer dans le système. De plus, une installation en plus pour contrôler et faire circuler le fluide de refroidissement est nécessaire, ce qui pose des problèmes d'encombrement. Le refroidissement par air est généralement mis en place avec un ventilateur. [11]



Figure II.8 : Refroidissement à air (ventilateurs). [19]

II.4.6. Refroidissement par convection naturelle :

C'est le cas de refroidissement des composantes électroniques, cette dernière dissipe la chaleur et il faut donc contrôler sa température pour éviter un dysfonctionnement. La convection naturelle est bien moins efficace que la convection forcée mais un avantage réside dans l'économie de moyens de refroidissement. [11]

II.5. Le phénomène de convection :

La convection est un des trois modes de transfert de chaleur avec la conduction et le rayonnement. Le terme de convection fait référence aux transferts de chaleur se produisant entre une surface et un fluide en mouvement lorsque ceux-ci sont à des températures différentes. En plus du transfert d'énergie dû à la diffusion, il y a également transfert par le biais du mouvement du fluide. Ce dernier est associé au fait que de multiples molécules ont un mouvement collectif, ce qui implique un transfert de chaleur dans le cas où il existe un gradient thermique.

La contribution due au mouvement aléatoire des molécules, la diffusion, domine près de la surface où la vitesse du fluide est faible. En effet, à l'interface entre la surface et le fluide, étant donné que la vitesse du fluide est nulle, le seul mode de transfert est la diffusion. La contribution due au mouvement du fluide tient son origine du fait que la couche limite croît au fur et à mesure de l'avancée du fluide sur la surface.

Le transfert thermique par convection est divisé en deux parties suivant la nature de l'écoulement :

- **la convection forcée** apparaît lorsque l'écoulement est engendré par des moyens externes comme un ventilateur ou les vents atmosphériques
- **la convection naturelle** se produit lorsque l'écoulement est induit par une différence de masse volumique qui varie en fonction de la température au sein du fluide. [11]

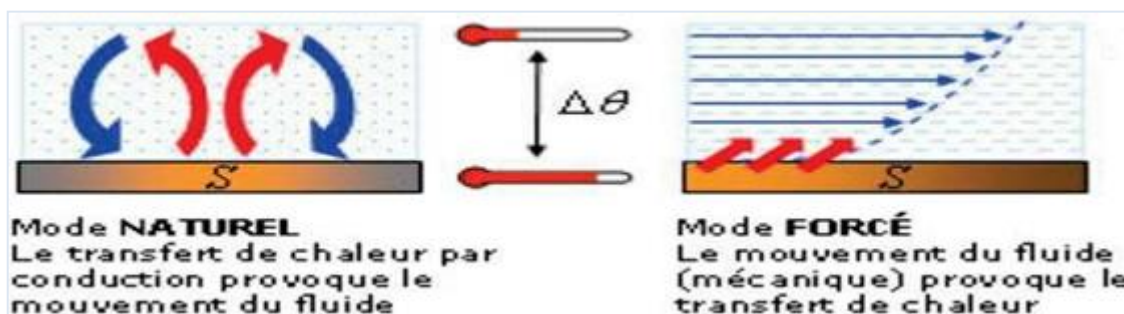


Figure II.9 : Phénomène de convection. [11]

II.6. Refroidissement par les micros canaux:

Le terme "micro-canal" désigne des canaux dont le diamètre hydraulique est compris entre 10 et 100 micromètres. Avec le développement de l'usinage de précision ou de la technique de micro-fabrication, les échangeurs de chaleur à micro canaux ont été de plus en plus utilisés dans différentes disciplines scientifiques telles que la biotechnologie, les sciences chimiques Physiques et physiques, les techniques de détection, les technologies électroniques. Les micros Canaux sont constitués d'un dissipateur de chaleur fabriqué d'un solide de grandes conductivités thermiques tel les que le silicium ou le cuivre avec les micros canaux usinés au sein du solide. Le liquide de refroidissement est forcé à passer à travers ces canaux pour évacuer la chaleur générée dans la surface chaude en contact avec la paroi inférieure du dissipateur. Un dissipateur de chaleur à micro canaux contient généralement un grand nombre de micro canaux parallèles Le concept des micros canaux n'est pas nouveau puisqu'il a été introduit vers 1980 par les chercheurs Tuckerman et Pease. Pour démontrer le potentiel de Refroidissement de ces structures, ils ont fabriqué un échangeur de (1 x 1cm²) en silicium, composé de canaux et d'ailettes de 0.05 mm de largeur pour une hauteur de 0.3 mm, soit 50 canaux en tout. En utilisant de l'eau comme fluide caloporteur, cet échangeur était capable de dissiper 790W/cm² en ayant un écart maximal de température de 71°C au niveau du composant chauffant par rapport à la température de l'eau. Compte tenu du faible débit employé de 500 mL/min, La perte de charge de l'échangeur à ce débit valait 2.14 bars. La résistance thermique de cet échangeur est donc de 0.089°C/W. Les échangeurs à micro canaux/microstructures constituent donc une méthode innovante pour le transfert de grosses puissances thermiques issues de petites surfaces vers un fluide caloporteur. L'échangeur est couramment fabriqué dans un matériau à haute conductivité thermique comme l'aluminium, le cuivre ou le silicium. Ces canaux sont réalisés par micro -usinage et autres technique complexes de micro fabrication tel Le que l'ablation laser, le plasma, l'épitaixie, la gravure chimique, l'érosion, le dépôt de vapeur, Etc. Ils ont des dimensions de passage qui varient de 1mm à 0.001mm dans lesquels circulera un fluide chargé d'évacuer la puissance absorbée vers un radiateur ou un condenseur. Ces échangeurs combinent à la fois une énorme surface d'échange par rapport à leurs dimensions générales (rapport surface/volume important), un très grand coefficient d'échange convectif, un faible encombrement, une faible masse et enfin un faible besoin en débit (de quelques mL/min à 1L/min en général). Toutes ses caractéristiques attrayantes les rendent tout à fait adaptés pour être intégrés facilement et pour

refroidir efficacement les processeurs, les lasers, les gros électro-aimants, etc. Les micros canaux peuvent être fabriqués à partir du verre, de polymères, ou de silicium. [13]



Figure II.10 : Refroidissement liquide à microcanaux. [13]

II.7. Refroidissement par les mini canaux :

Le refroidissement par mini canaux nous paraît la technique la mieux adaptée pour nos travaux. En effet, cette technique est la plus simple à réaliser. Toutefois la principale raison qui nous a amené à faire ce choix est la possibilité de limiter le volume de fluide dans ce genre de refroidisseur.

Ce paramètre est important car, comme nous l'avons dit, la masse volumique de ce fluide est assez grande et de plus il est très cher. [13]



Figure II.11 : Refroidissement liquide à minicanaux. [13]

Le refroidissement par mini et micro canaux a aujourd'hui prouvé qu'il constitue un moyen très intéressant pour la gestion thermique de l'électronique de puissance. En effet, des densités de flux de chaleur de plusieurs centaines de $W.cm^{-2}$ peuvent être évacuées grâce à cette technique. Les minis et micro canaux peuvent être de forme plus ou moins élaborée suivant l'effet recherché et la technique de fabrication utilisée. La forme la plus simple est constituée par des canaux rectangulaires axiaux en parallèle. [13]

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu l'utilisation de nano fluides en tant que fluide thermique est un nouveau domaine qui est encore en phase de recherche. Des améliorations d'échange thermique de l'ordre de plusieurs 10% semblent possibles, notamment pour certaines applications : moteurs thermiques et refroidissement électronique. Néanmoins, compte tenu de l'augmentation de viscosité due aux nanoparticules, le bilan énergétique reste encore mitigé.

L'influence d'un certain nombre de paramètres, tels que la taille et la forme, les phénomènes aux interfaces entre liquide et particules, sont encore mal compris et caractérisés.

Le succès du développement d'un nano fluide industriel demande la résolution simultanée de plusieurs problèmes :

- Obtenir un coefficient d'échange thermique amélioré
- Ne pas augmenter la perte de pression dans le circuit hydraulique
- Développer un fluide stable en température et durant sa durée de vie (stockage, utilisation)
- Ne pas encrasser ou éroder les circuits hydrauliques
- Être acceptable au niveau environnement (toxicité, rejet...)
- Avoir un coût de production compétitif pour l'application visée.

Chapitre III :
Formulation mathématique

III. Modèle mathématique généralisé :

III.1. Introduction :

Dans de nombreux systèmes industriels, la convection naturelle est un des principaux phénomènes de transfert d'énergie. La maîtrise et la compréhension des phénomènes liés à la convection naturelle sont ainsi des enjeux majeurs dans la conception et le dimensionnement de ces systèmes. [21]

Une part importante des dispositifs industriels tels que le mur Tombe, la cheminée solaire, le refroidissement de panneaux photovoltaïques ou encore le refroidissement des circuits imprimés correspondent à des géométries ouvertes. [21]

Dans ce chapitre, nous introduisons la géométrie étudiée suivie par les équations de la modélisation mathématique qui régissent le flux et le transfert de chaleur, où les équations de conservation pour la masse, la quantité de mouvement, l'énergie et les conditions aux limites.

III .2.1. Equation de continuité :

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot v) = 0 \quad (\text{III. 1})$$

Où ρ est la masse volumique et V est le vecteur de vitesse.

III.2.2. Equation de quantité de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent. Il indique que le taux de variation de quantité de mouvement contenu dans le volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Il s'écrit sous la forme suivante

$$\frac{D}{Dt}(\rho \cdot V) = \rho F - \text{grad}(p) + \mu \Delta + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}(v)) \quad (\text{III. 2})$$

Chapitre III : Formulation mathématique

Où F est une force par unité de volume et μ est la viscosité dynamique.

III.2.3. Equation de conservation d'énergie :

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit:

$$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T) = \Delta(K.T) + q + \beta T \frac{Dp}{DT} + \mu \Phi \quad (III.3)$$

Avec :

$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T)$: La variation totale d'énergie (par accumulation et convection).

$\Delta(K.T)$: La variation d'énergie par conduction.

q : Puissance volumique dissipée.

$\beta T \frac{Dp}{DT}$: La variation d'énergie due à la compressibilité.

$\mu \Phi$: La dissipation irréversible due au frottement visqueux.

III.3. Modèle mathématique pour le cas étudié :

III.3.1. La géométrie du problème étudié :

La configuration représente un micro canaux selon la figure suivante (III.1). C'est un micro canaux. La paroi supérieure qui relie les composants électroniques est maintenue à un flux de chaleur constant (voir condition aux limites). Le fluide qui coule dans le micro canaux est constitué d'eau avec une fraction des nanoparticules de (CuO, TiO₂, Ag). Nous voulons d'étudié l'influence de changement des fractions volumique L'effet de ce dernier sur la température et la vitesse...etc. sur le refroidissement de micro canaux incline à un angle égale (30°) Voir les figures (III.1).

H	H	V	FD1
Longueur total (L) est de 15 mm	Largeur de micro canaux est 1 mm	Profondeur de micro canaux est de 5 mm	Hauteur total est de 2 mm

Tableau III.1 : Dimensionnement de micro canal étudié.

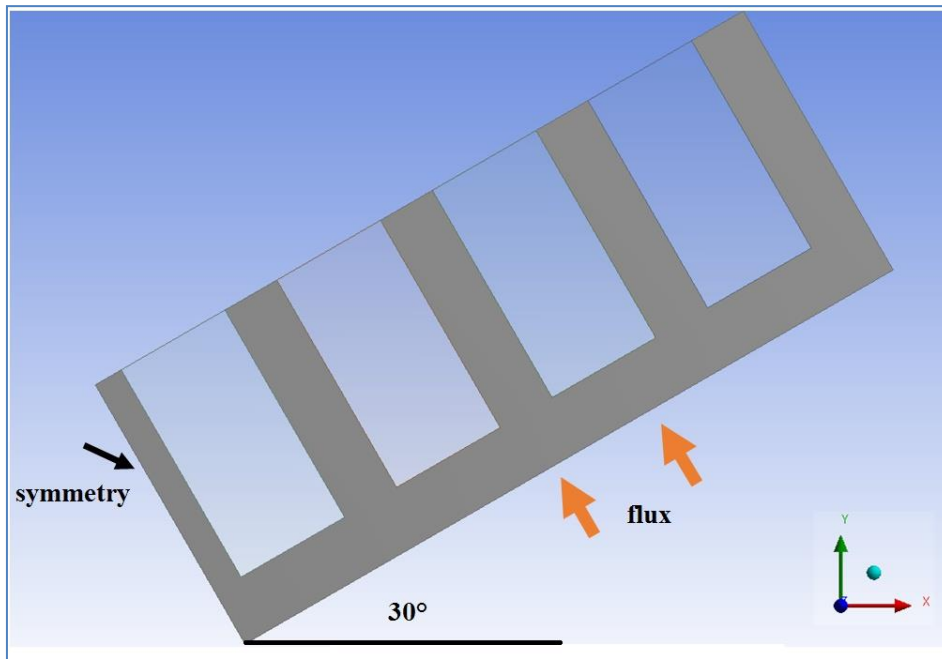


Figure (III.1) : configuration du problème en question

III.3.2. Hypothèses simplificatrices dans notre étude :

- L'écoulement est stationnaire et tridimensionnel.
- Le nano fluide est Newtonien et incompressible.
- L'écoulement engendré est laminaire.
- Le flux de la source de chaleur est constant dans le temps.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.
- Les propriétés thermo physiques du nano fluide sont constantes.
- la puissance volumique dissipée est négligeable.
- Le travail, induit par les forces visqueuses et de pression, est négligeable.
- La masse volumique du fluide varie linéairement avec la température. Cette variation est donnée par la relation :

$$\rho = \rho_0[1 - \beta(T - T_0)] \quad (\text{III. 4})$$

D'où

T : Représente la température du fluide en un point donné du système.

T_0 : La température de référence.

ρ_0 : La masse volumique du fluide.

β : Le coefficient d'expansion volumique thermique du fluide, il est donné par :

$$\rho = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right) p \quad (\text{III. 5})$$

On utilise une hypothèse simplificatrice connue par l'hypothèse de Boussinesq, qu'elle dit: « la masse volumique du fluide est supposée constante dans les équations hydrodynamiques, sauf dans le terme générateur de la convection naturelle, ou ses variations induisent directement des forces de poussée d'Archimède. Toutes les autres caractéristiques thermo-physiques du fluide (la viscosité dynamique μ , la conductivité thermique k et la chaleur massique à pression constante C_p) sont considérées comme constantes et définies à la température de référence ».[13]

Les équations de la continuité de la quantité de mouvement et de l'énergie forment le modèle mathématique de l'écoulement de la convection libre laminaire.

Dans le cas de l'écoulement tridimensionnel et stationnaire, le système d'équations, relativement à un système de coordonnées cartésiennes s'exprime comme suit :

III.4. Equations du problème :

On peut établir les différentes équations nécessaires à la résolution du problème considéré dans notre étude comme suit:

II.4.1. Equations de continuité:

Après d'application des précédentes hypothèses on obtient :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{III. 6})$$

u et v et w étant les composantes du champ de vitesse V ($u.v.w$) dans la direction x et y et z respectivement.

II.4.2. Equations de quantité de mouvement :

Les équations de quantité de mouvement s'écrivent de la manière suivante :

Suivant x :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + g\beta(T - T_0) \sin \theta \quad (\text{III. 7})$$

Suivant y :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - g\beta(T - T_0) \cos \theta \quad (\text{III.8})$$

Suivant z :

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (\text{III. 9})$$

III.4.3. Equations de l'énergie :

L'équation de l'énergie est obtenue en appliquant le principe de la conservation de l'énergie dans la direction x et y comme suit :

$$u \frac{\partial T}{\partial X} + v \frac{\partial T}{\partial Y} + w \frac{\partial T}{\partial Z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) \quad (\text{III. 10})$$

Les équations différentielles de la continuité, de la quantité de mouvement et de l'énergie forment le modèle mathématique de l'écoulement de la convection naturelle laminaire.

III.5. Conditions aux limites :

Dans ce travail, les conditions aux limites hydrodynamiques et les limites thermiques sont choisies comme suit:

- ❖ Le régime d'écoulement est laminaire
- ❖ .Le flux de chaleur dissipé par le composant $\varphi = 1000000 \text{ w/m}^2$
- ❖ La température du nano fluide utilisé été fixé $T_{in} = 293 \text{ K}$ à l'entrée des micro-canaux.
- ❖ La vitesse est appliquée comme condition de la limite hydrodynamique lors de l'entrée dans les micro-canaux est $v = 2.36 \text{ m/s}$.
- ❖ le nano fluide utilisé est ((eau-CuO), (eau-TiO2), (eau-Ag)) est le fluide qui traverse micro-canaux.

Les conditions aux limites du phénomène étudié sont récapitulées de la manière suivante :

Les fluide écoulé dans le micro canal est des nano fluides avec les paramètres physique calculés selon les équations citées ci dessus.

À l'entré de canal ($x = 0$) :

$$u = U_{en} ; v = 0 ; T = T_{en}$$

à la sortie de canal ($x = L$) Les gradients de tous les paramètres sont nuls ($\partial u / \partial x = \partial v / \partial y = \partial w / \partial z = \partial T / \partial x = 0$)

à la paroi inférieure ($y = 0$) et

$$u = 0 ; v = 0$$

III.6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé le modèle physique examiné et les équations qui régissent ce modèle physique, ensuite, le phénomène de la grossesse dans un micro canaux nous avons spécifié les conditions aux limites de toute la frontière du domaine de l'écoulement pour résoudre les équations de la dynamique des fluides qui se font par l'utilisation des méthodes numériques où intervient le concept de la discrétisation.

Chapitre VI :
Formulation Numérique

IV.1. Introduction :

Après des années le développement des ordinateurs a encouragé les scientifiques à résoudre des problèmes de plus en plus complexes pour lesquelles les solutions analytiques ne peuvent -être trouvées. Ces types de problèmes sont généralement modélisés par des équations aux dérivées partielles (E.D.P) non-linéaires. [10]

Ce chapitre est dédié à la modélisation de l'écoulement et du transfert thermique dans les Micro canaux. On traite de l'étude du refroidissement de composants électroniques, principalement à l'aide du logiciel Workbench ANSYS qui est spécialement destiné à la dynamique des fluides numérique (CFD), CFD «computational fluid dynamics» ensemble des méthodes numériques pour obtenir une solution approchée pour des problèmes de la dynamique des fluides et transfert de chaleur. Équations de la mécanique des fluides sur ceux resaluent par des méthodes numériques. [13]

Les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie sont résolues par la méthode des volumes finis, en utilisant le code de calcul FLUENT. [5]

Nous avons choisi la méthode des volumes finis qui développée par Patankar.

IV.2. Procédures du calcul :

IV .2.1. Menu principale de logiciel ANSYS Workbench :

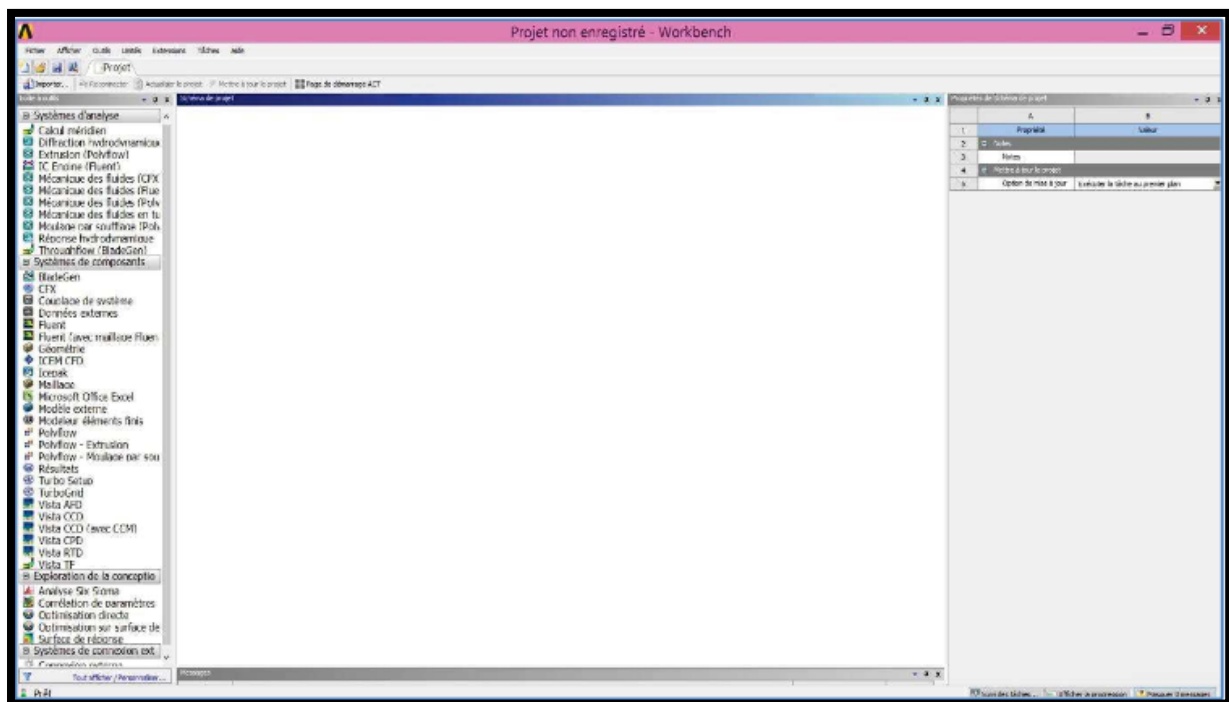


Figure IV.1 : Menu principal de workbench.

La barre d'outils nous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse.

Chapitre IV : Formulation Numérique

Pour débiter une analyse en mécanique des fluide (Fluent) glisser dans schéma de projet (Figure IV.2)

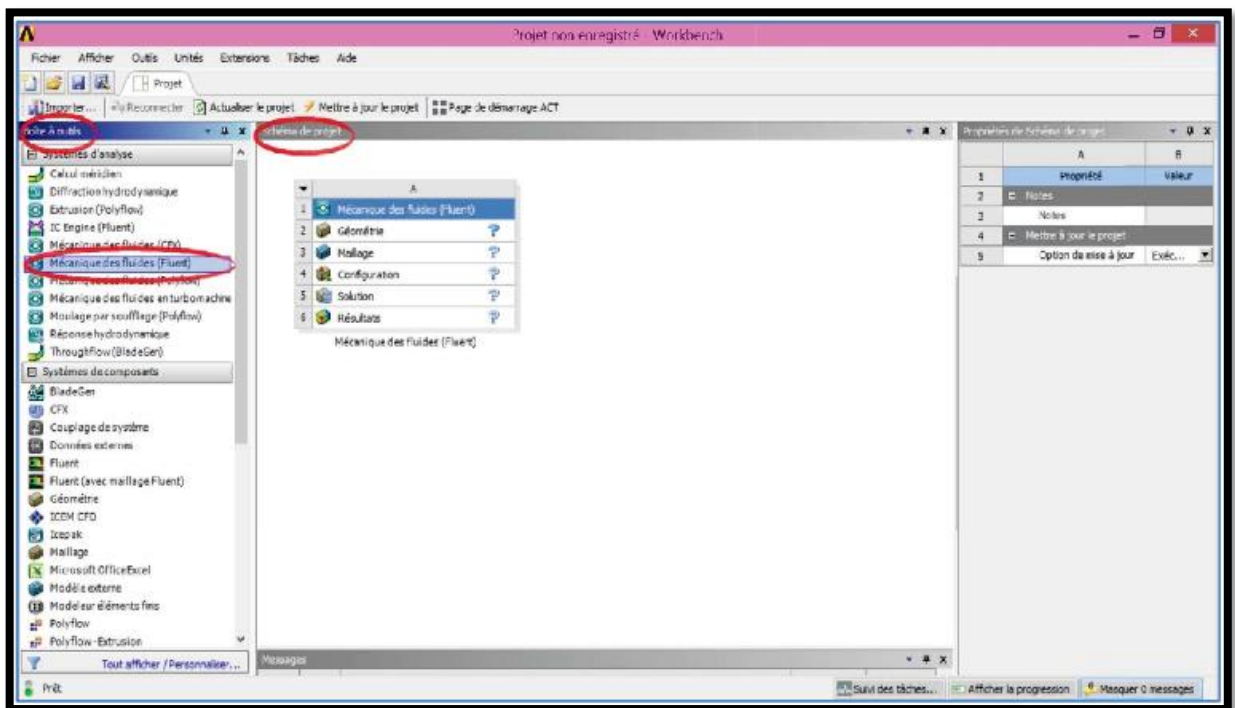


Figure IV.2 : Création d'un (projet) en mécanique de fluide.

Le tableau créé constitué de 5 étapes :

1. **Géométrie** : Utilisé pour importer, créer, modifier ou mettre à jour un modèle pouvant être utilisé pour une analyse.
2. **Maillage** : cette cellule est associée à la définition de la géométrie, des systèmes de coordonnées, des connections et du maillage dans le module de simulation Mécanique.
3. **Configuration** : permet de définir les chargements, conditions aux limites et autre configuration de l'analyse.
4. **Solution** : La cellule Solution permet d'avoir accès aux données de résolution.
5. **Résultats** : cette cellule regroupe les résultats de l'analyse.

IV.2.2. Création de la géométrie:

Pour créer une géométrie avec Ansys Workbench Double clique sur **Géométrie** pour ouvrir le module de création géométrique "**Design Modeler**" (figures: (IV.3), (IV.4), (IV.5)).

Chapitre IV : Formulation Numérique

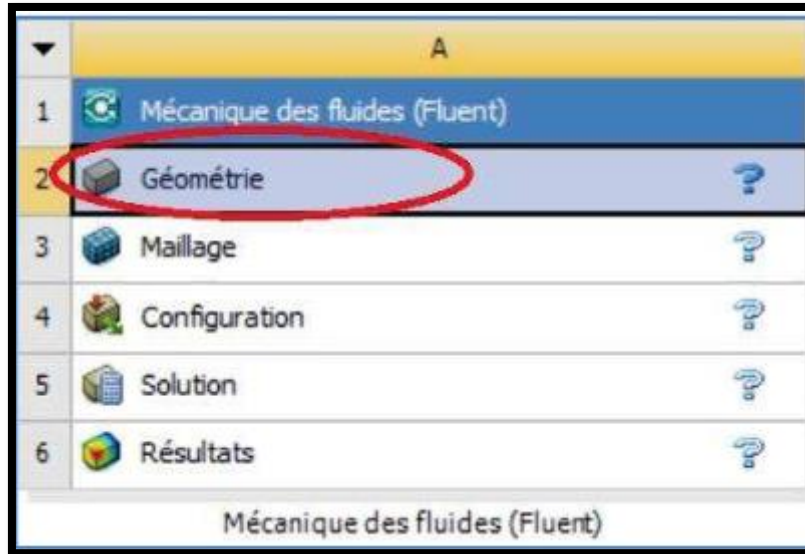


Figure IV.3 : Création d'un projet en mécanique de fluide.

Après l'ouverture du module de création géométrie, sélectionnez millimètre comme unité de dimension.

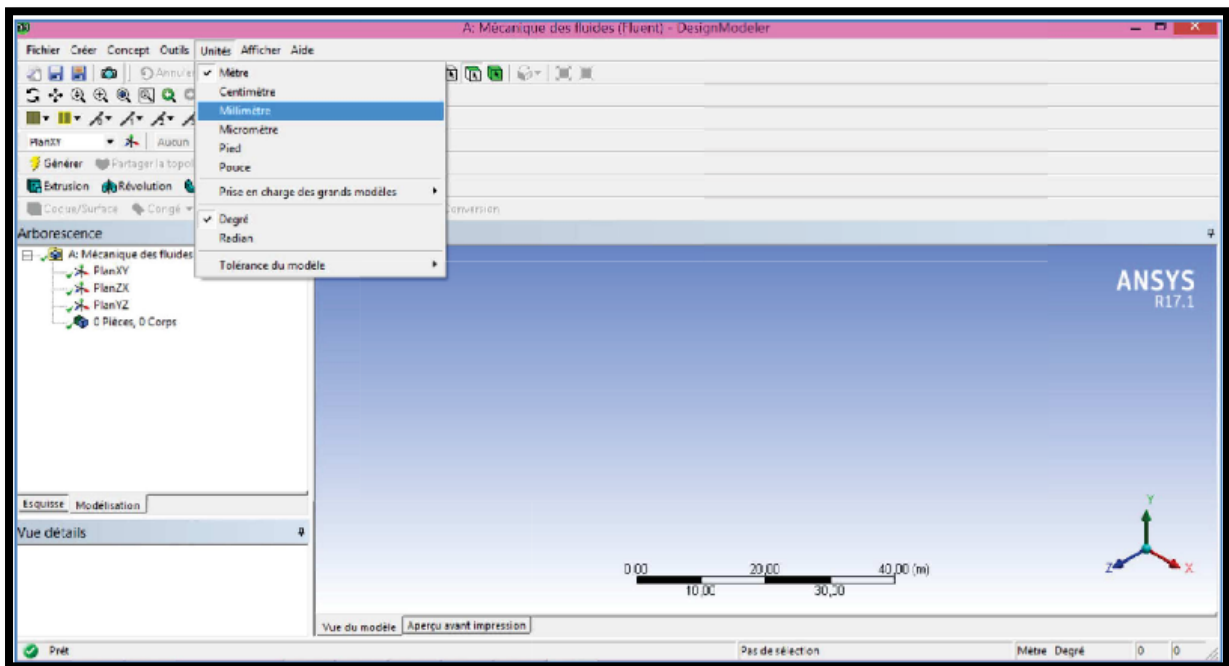


Figure IV.4 : Création du modèle de la géométrie.

Par la suite, on choisit le plan et la vue sur lequel on va travailler en cliquant sur le plan

XY, et sur  dans la barre d'outils :

Chapitre IV : Formulation Numérique

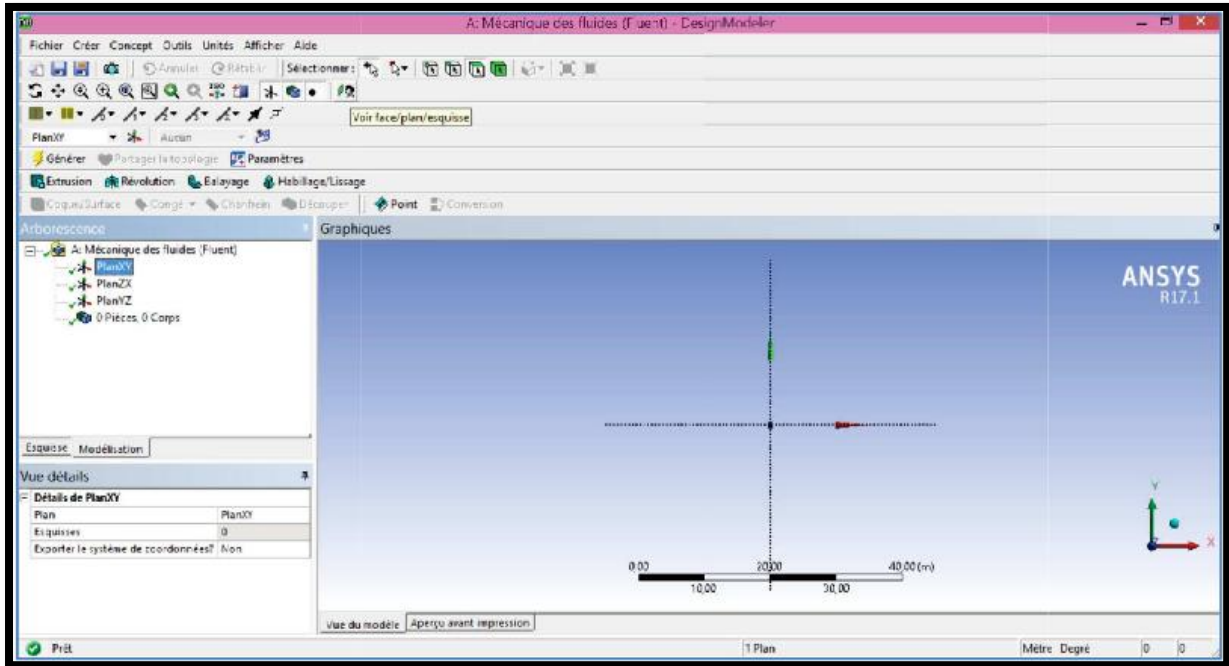


Figure IV.5 : Création du modèle (plan de vue).

Pour le cas que nous étudions, nous créons un nouveau plan incliné d'angle que nous définissons, selon les étapes suivantes :

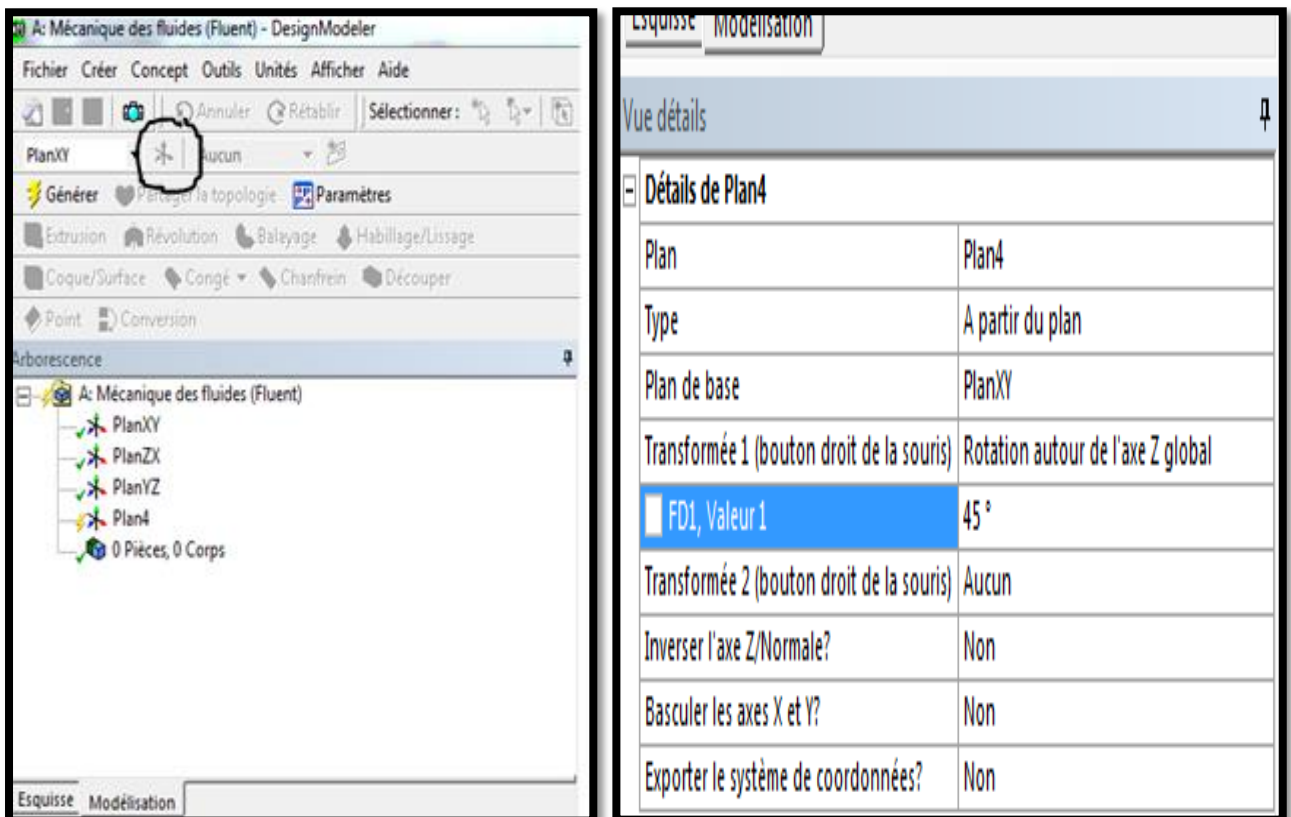


Figure IV.6 : Création du plan incliné (plan de vue).

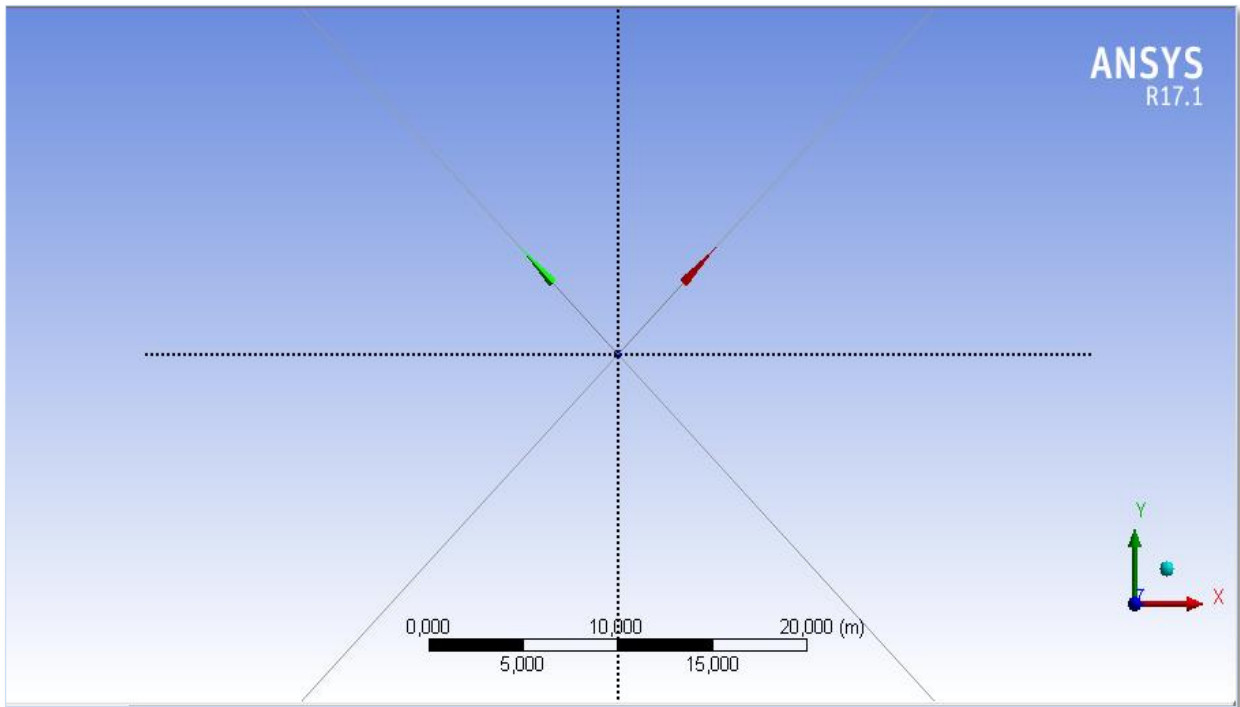


Figure IV.7 : Création du modèle (plan du vue incline avec un angle 30°).

Après cette étape il faut cliquer sur  pour voir les résultats, suivante :

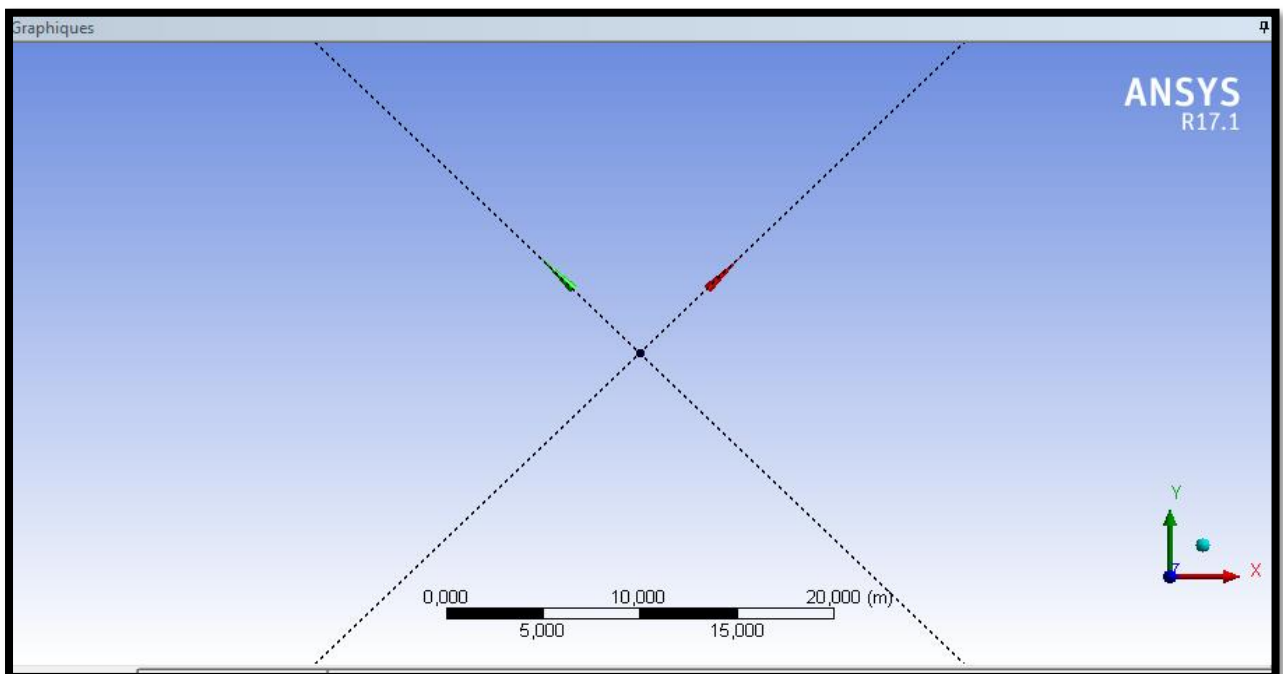

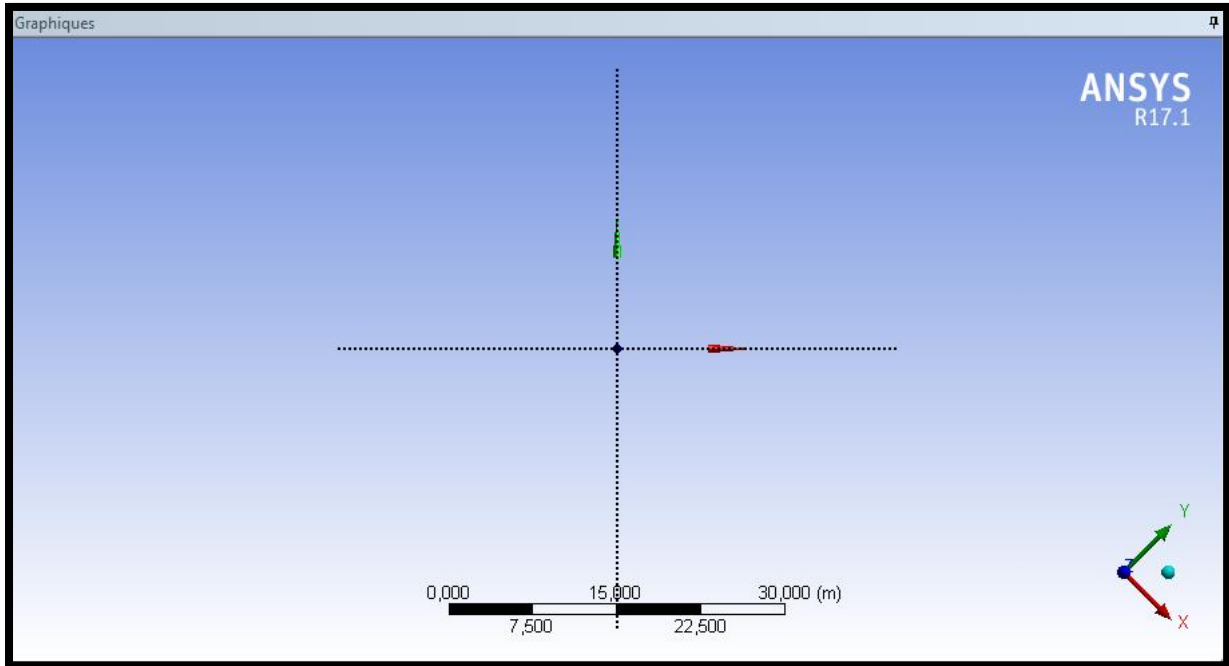


Figure IV.8 : plan de vue avec un angle estimé 30° .

Afin de faciliter le processus de dessin de cet enseignant, nous cliquons sur  dans la barre d'outils :



Pour dessiner l'esquisse on clique sur la boîte à outils Esquisse qui va permet de créer la géométrie, d'y ajouter des dimensions et de la contraindre:

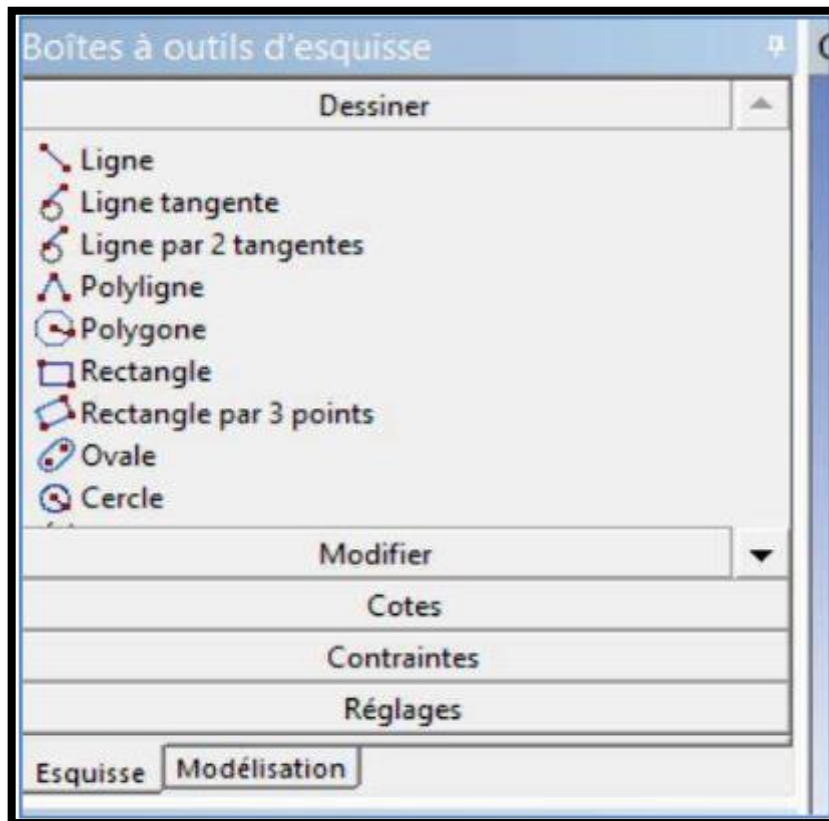


Figure IV.9: Création d'esquisse N°01.

On obtient cette esquisse :

Chapitre IV : Formulation Numérique

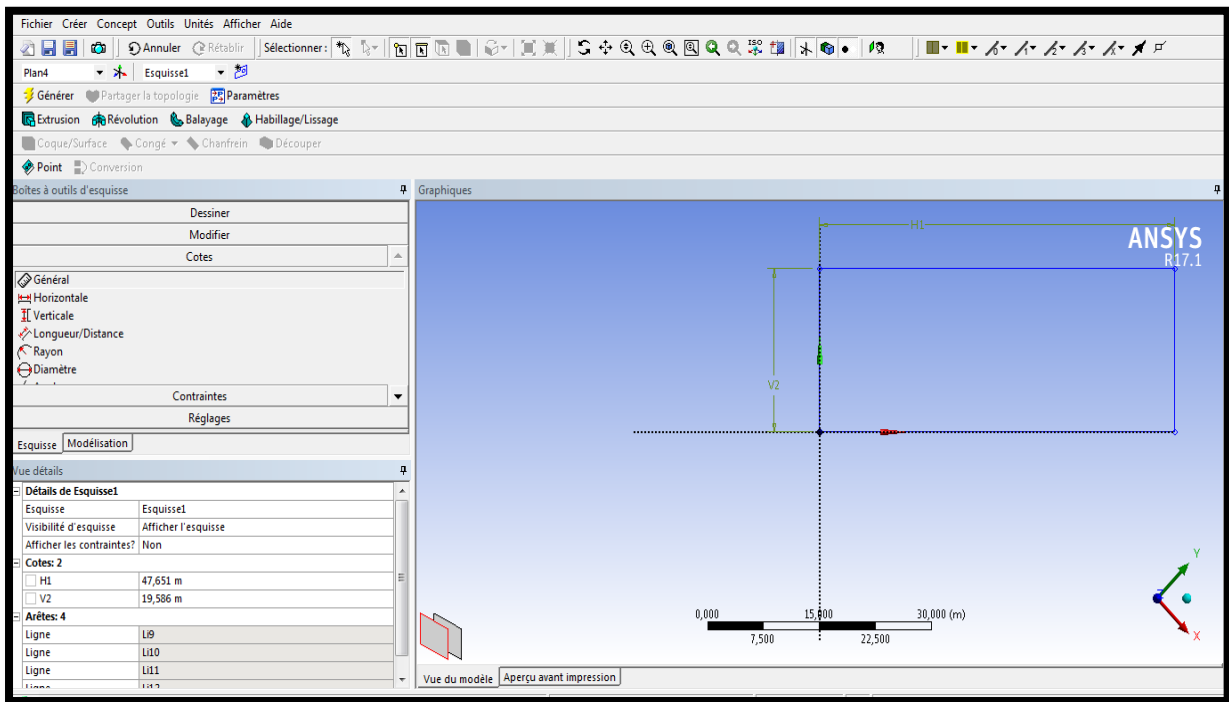


Figure IV.10 : Création d'esquisse N°02.

Sélectionnons les cotes à la géométrie comme suit :

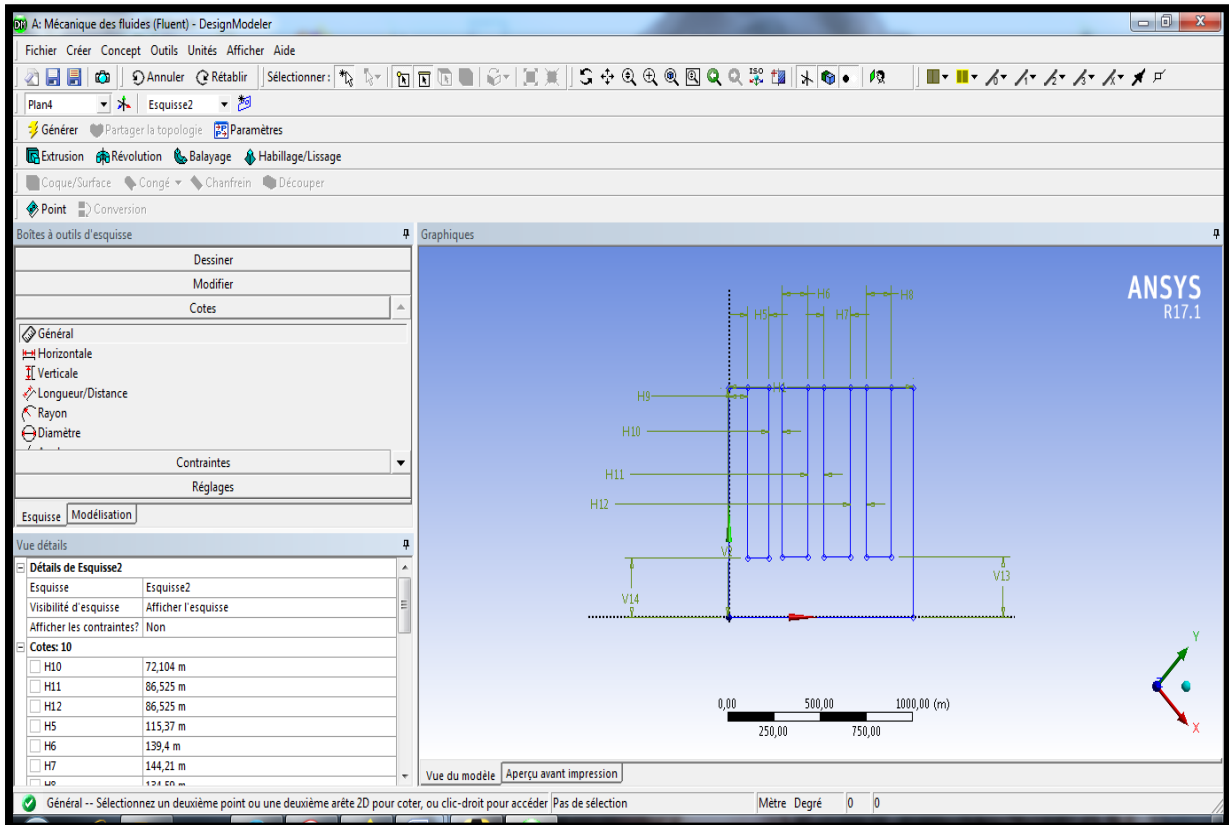


Figure IV.11 : Définition des cotes du micro canaux un seul composant électronique.

Maintenant, nous allons Extrusion1 pour Esquisse1 pour obtenir une géométrie en 3D.

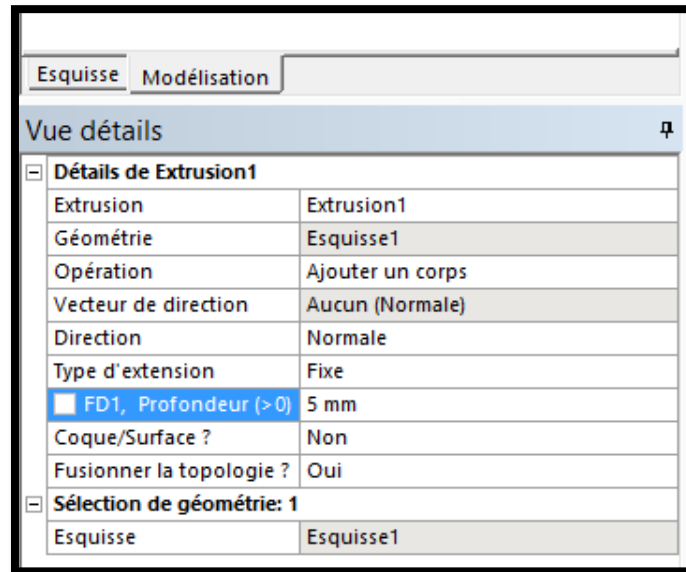


Figure IV.12 : Création d'extrusion.

Et notre Extrusion2 → Esquisse2 pour Enlevez de la matériel et indique dans les composante électronique le fluide qui entré ; Extrusion3 → Esquisse2 pur ajouté un coure bloque (fluide)

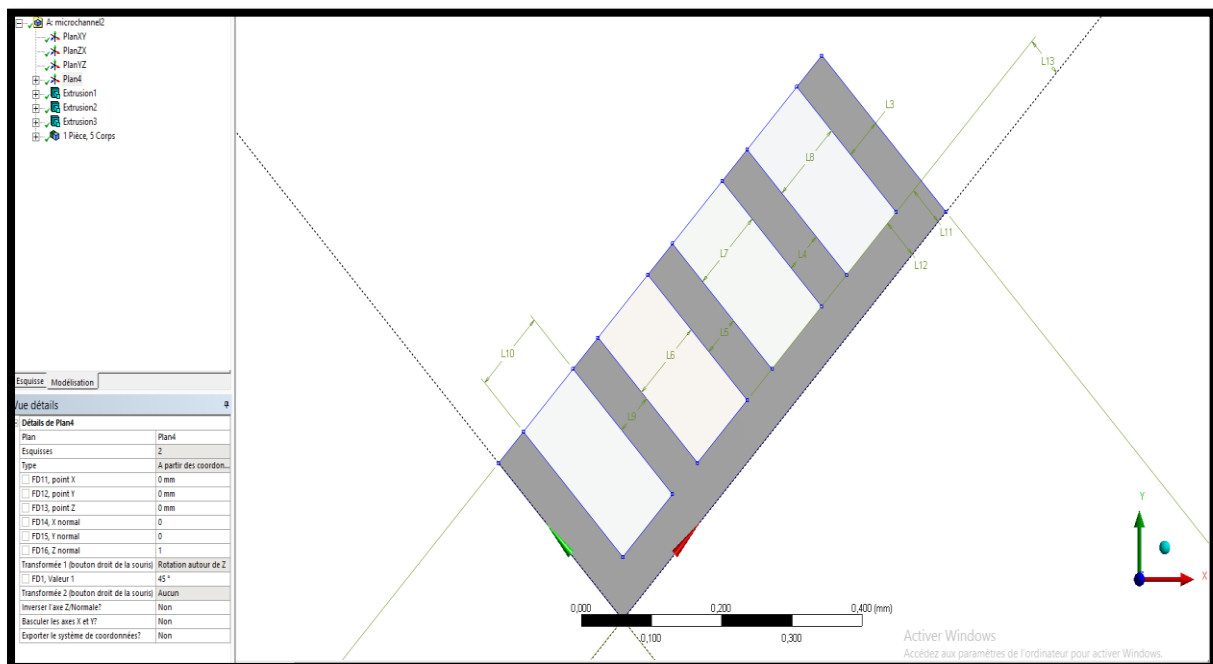
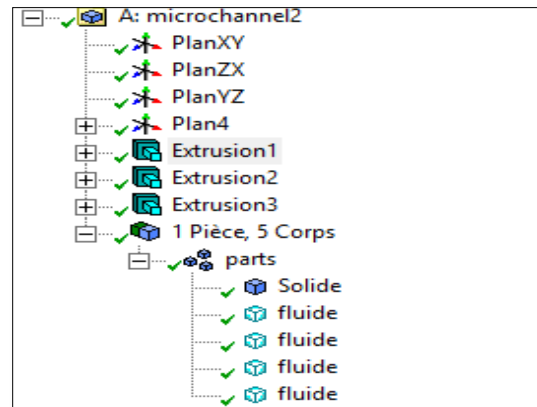


Figure IV.13 : Schéma que nous avons après extrusion 2 et extrusion 3.

Il reste une dernière chose à faire, préciser que toutes nous surfaces sont en faites à la même zone de fluide.



Corps	Corps surfacique
Mode d'épaisseur	Définie par l'utilisateur
Epaisseur (>=0)	0 mm
Aire	108 mm ²
Faces	1
Arêtes	16
Sommets	16
Fluide/Solide	Fluide
Méthode de topologie partagée	Automatique
Type de géométrie	DesignModeler

Figure IV.14 : Définition de la zone fluide.

Comme ça on a terminé notre géométrie, il suffit de la sauvegarder et quitter Design modeler et nous revenons sous Workbench pour passer à l'étape de maillage.

III.2.3. Le maillage :

Pour créer le maillage, on va double cliqué sur Maillage dans la boîte Workbench. Une fois "Meshing" est lancé, on va spécifie la méthode de maillage.

Nous passons désormais le nom de sélections de l'intérêt, le nom d'un parti, il doit sélectionner →Clic droit →Créer la sélection nommée →Lui donne un nom.

Pour sélectionner un partie de la géométrie, il faut avoir l'outil  pour les surfaces, et

l'outil  pour les arêtes.

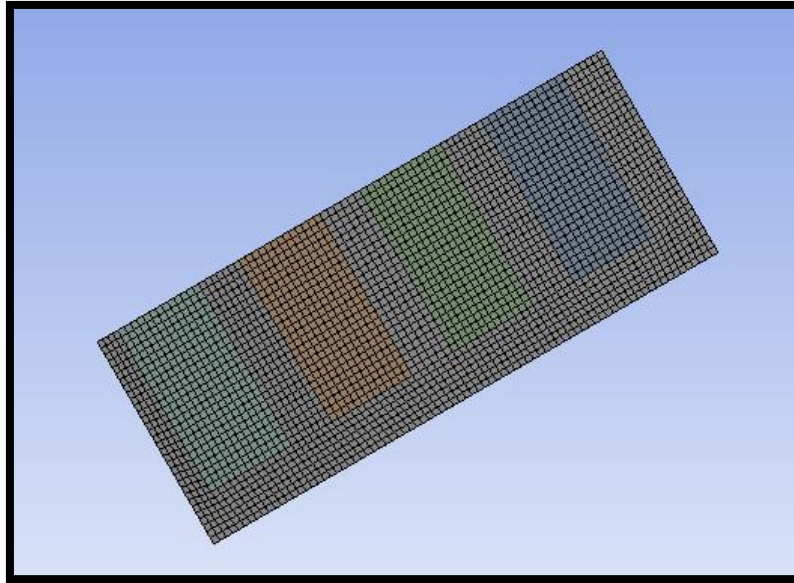


Figure IV.15 : Type de maillage sur la partie d'écoulement.

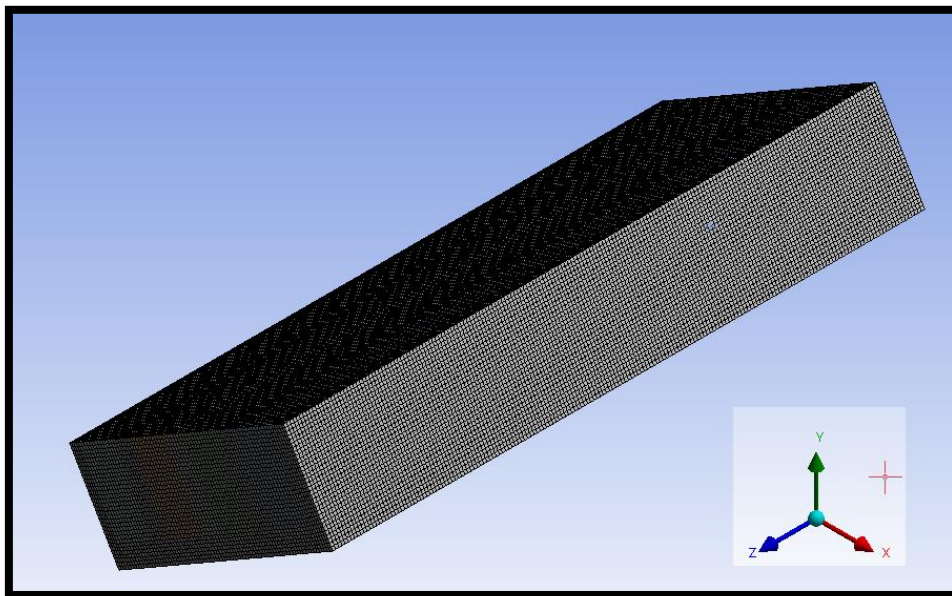


Figure IV.16 : Type de maillage général.

Puis nous allons à l'étape de modélisation avant solveur «fluent».

III.2.4. Configuration :

Des sélections nommées s'affichent automatiquement, qui va nous demander de Conditions aux limites.

1. Model : laminaire, équation de l'énergie.
2. Matériels : Nous changeons les propriétés thermiques et physiques pour

Chapitre IV : Formulation Numérique

Chaque type de nano fluide On change les propriétés du solide par celles de silicium.

3. Cell zone condition : Nous avons identifié à nano Fluide sur la surface du corps.

4. Boundary Conditions Nous avons identifié les conditions aux limites suivantes :

Entrée: la vitesse, la température ambiante.

Wall hot : un flux de chaleur des composantes électroniques.

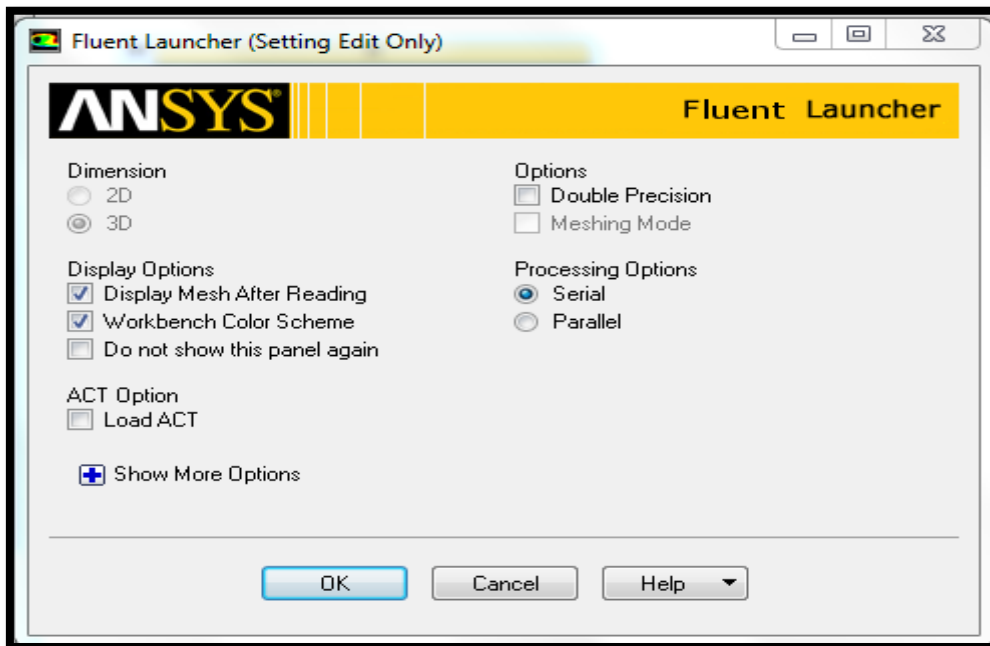


Figure IV.17 : La première fenêtre est obtenue lors de l'ouverture de fluent.

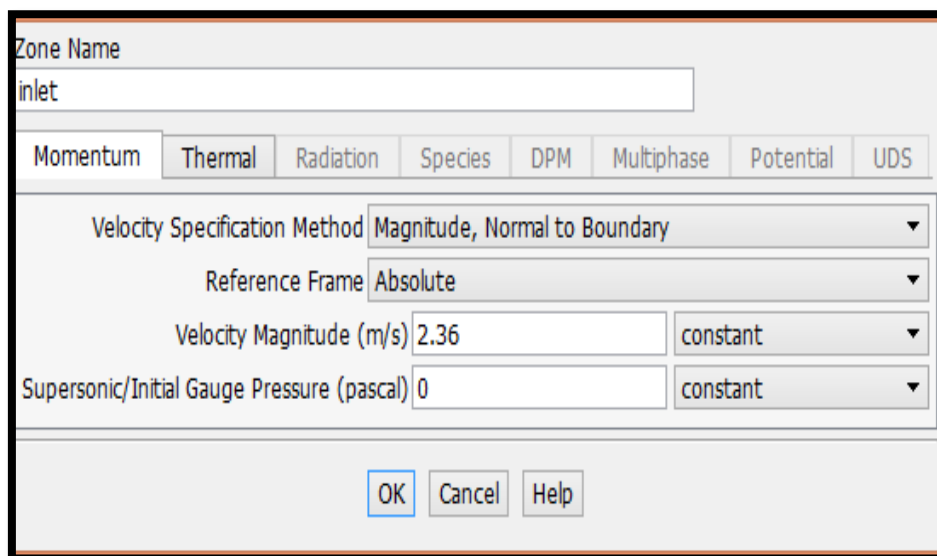


Figure IV.18 : Conditions aux limites à propos les vitesses.

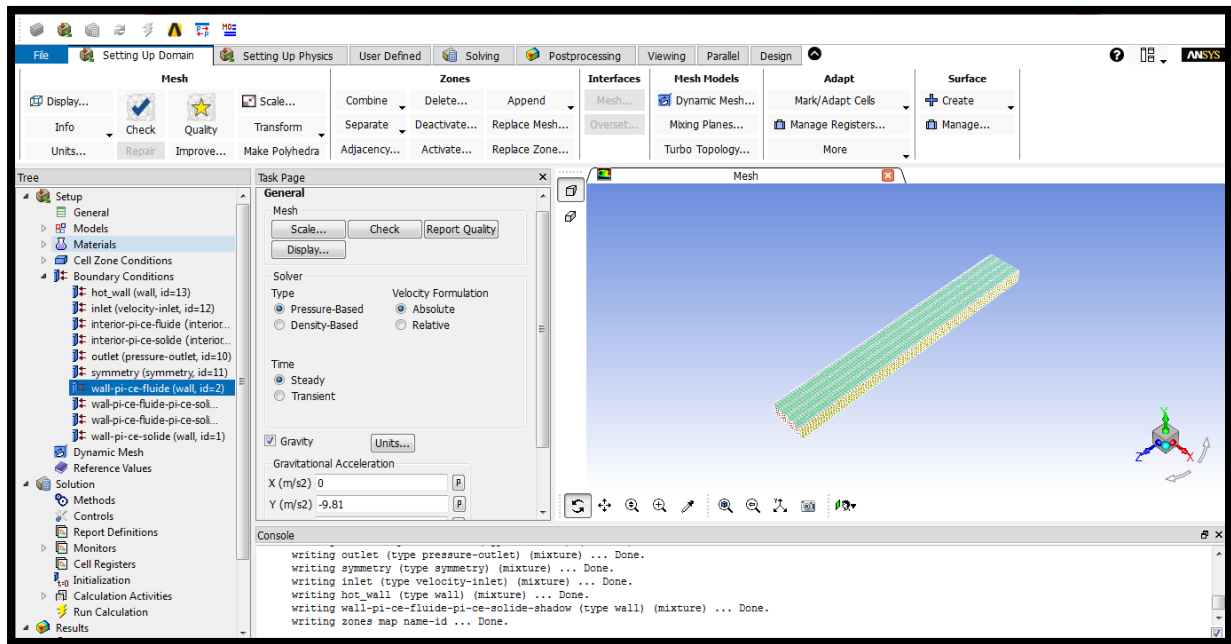


Figure IV.21 : Configuration du modèle par le solveur.

II.3.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une explication détaillée de Ansys et comment l'utiliser, les étapes de calcul par le logiciel utilisant la simulation numérique par CFD.

Nous avons intéressé dans nos résultats par le champ de température, les lignes de courant et le nombre de Nusselt, qui sera affichées, interprétées et discutées dans le chapitre suivant.

Chapitre V :
Résultats et Discussions

CHAPITRE V : Résultats et Discussions

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous exposons les résultats numériques obtenus par la simulation numérique à travers un logiciel CFD utilisé «ANSYS FLUENT». On traite de l'étude le refroidissement de composants électroniques par convection, et suivi de l'évolution du transfert de chaleur en dans des microcanaux, soumis à un flux de chaleur important, en utilise comme un fluide de refroidissement, les nano fluides suivants ((eau-CuO), (eau-TiO₂) et (eau-Ag)).

Dans ce chapitre on a simuler numériquement les écoulements à travers des microcanaux incliné, pour différents paramètres où l'on change à chaque fois un certain facteur, qu'il soit la fraction ($\varphi = 0, \varphi = 0.1, \varphi = 0.4$) ou bien le nano fluide en fonction de nombre de Reynolds.

Nous faisons ces simulations en utilisant ensemble des méthodes numériques pour obtenir une solution approchée pour des problèmes de la dynamique des fluides et transfert de chaleur Nous présentons pour chaque paramètre les graphes de la distribution de la température (de la surface et dans la section du canal), la distribution de vitesse, le nombre de Nusselt et la variation du coefficient de transfert.

Résultats et interprétation :

Les résultats obtenus seront discutés en présentant les champs de température, coefficient de transfert de chaleur par convection distribution des températures (de la surface et dans la section du canal), la distribution de vitesse et le nombre de Nusselt en fonction R_e et la variation du coefficient de transfert en fonction R_e

➤ Caractéristique thermo physique du nano fluide (eau-CuO)

	ρ (kg/m ³)	C_P (J/kg.k)	k (W/m.K)	μ (kg/m.s)
Eau	998.2	4182	0.613	0.001003
CuO	6500	535.6	20	–

Tableau V.1 : propriétés thermo physiques du nano fluide utilise.

	ρ (kg/m ³)	C_P (J/kg.k)	k (W/m.K)	μ (kg/m.s)
(eau-CuO)	998.2	4182	0.613	0.001003

Tableau V.2 : 1^{er} Cas les propriétés de nano fluide $\varphi = 0$.

CHAPITRE V : Résultats et Discussions

Tableau V.3 : 2^{ème} Cas les propriétés de nano fluide $\varphi = 0.01$.

	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. k)	k (W/m. K)	μ (kg/m. s)
(eau-CuO)	1216.3	3413.7	0.6607	0.0011

Tableau V.4 : 3^{ème} Cas les propriétés de nano fluide $\varphi = 0.04$.

	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. k)	k (W/m. K)	μ (kg/m. s)
(eau-CuO)	1543.4	2668.6	0.7724	0.0013

➤ **Caractéristique thermo physique du nano fluide (eau-TiO₂) (eau-Ag) (eau-CuO):**

	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. k)	k (W/m. K)	μ (kg/m. s)
Eau	998.2	4182	0.613	0.001003
TiO ₂	4250	686.2	8.9539	–

Tableau V.5 : propriétés thermo physiques pour le nano fluide utilisé.

	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. k)	k (W/m. K)	μ (kg/m. s)
(eau-TiO ₂)	1063.236	3902.53	0.64364	0.00105315

Tableau V.6 : les propriétés de nano fluide (eau-Ag) pour $\varphi = 0.02$.

	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. k)	k (W/m. K)	μ (kg/m. s)
Eau	988.2	4182	0.613	0.001003
Ag	10.500	235	429	–

Tableau V.7 : propriétés thermo physiques pour le nano fluide utilise.

CHAPITRE V : Résultats et Discussions

	ρ (kg/m ³)	C_P (J/kg.k)	k (W/m.K)	μ (kg/m.s)
(eau-Ag)	1188.236	3484.88	0.65037	0.00105315

Tableau V.8 : les propriétés de nano fluide (eau-Ag) pour $\phi = 0.02$.

	ρ (kg/m ³)	C_P (J/kg.k)	k (W/m.K)	μ (kg/m.s)
Eau	998.2	4182	0.613	0.001003
CuO	6500	535.6	20	–

Tableau V.9 : propriétés thermo physiques pour le nano fluide utilise.

	ρ (kg/m ³)	C_P (J/kg.k)	k (W/m.K)	μ (kg/m.s)
(eau-CuO)	1108.236	3754.26	0.64722	0.00105315

Tableau V.10 : les propriétés de nano fluide (eau-CuO) pour $\phi = 0.02$.

V.2. la géométrie étudiée avec les conditions aux limites :

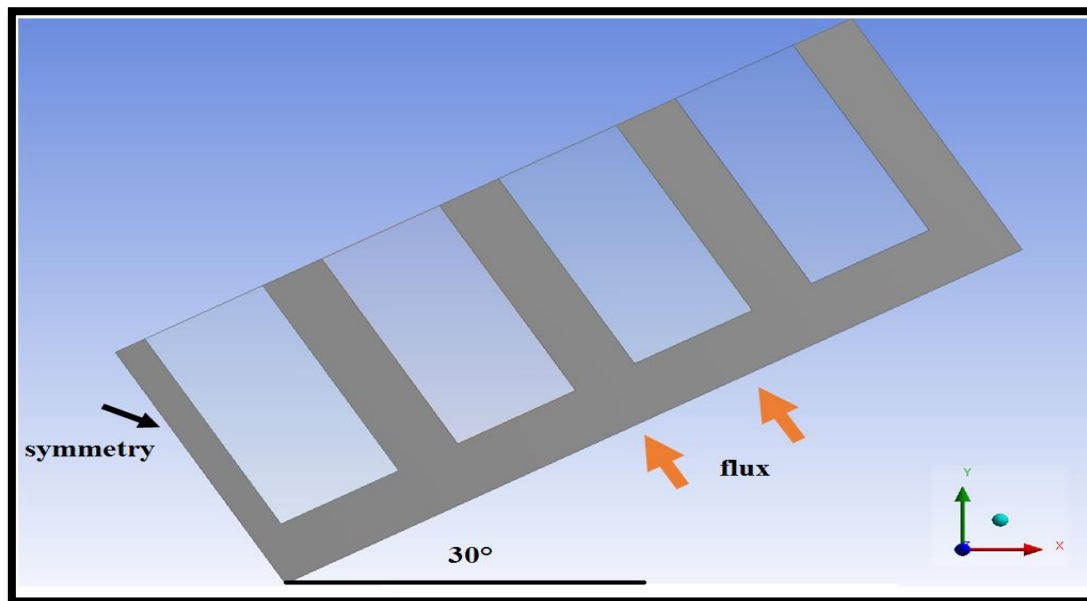


Figure V.1 : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (Symmetry, flux).

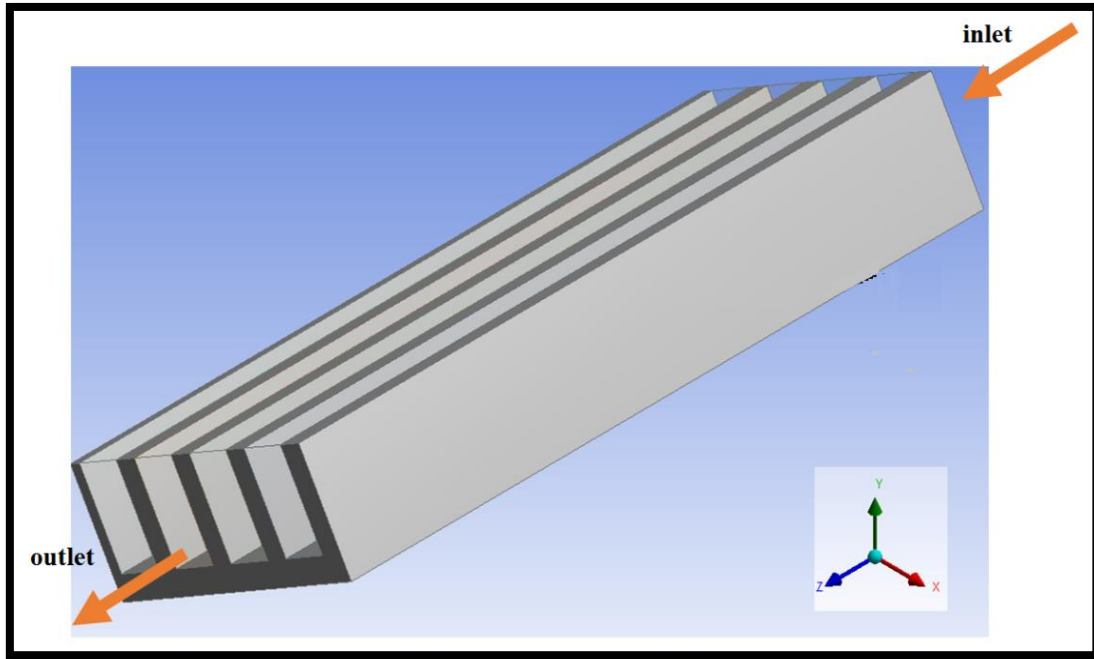


Figure V.2 : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (Entrée, sortie).

V.3. Résultats et interprétation :

Dans ce chapitre nous avons mené de nombreuses simulations numériques en utilisant la méthode des volumes finis (Mech) du programme ANSYS WORKBENCH, est de présenter les résultats de la simulation et leur interprétation pour les différents paramètres de l'écoulement d'un nano- fluide qui passe dans un micro canal, dans cette simulation numérique on utilise comme en fluide de refroidissement, le nano fluide (eau-CuO), qui circule dans un micro canal.

Pour la simulation on trouve les conditions aux limites, Les simulations numériques sont effectuées pour différent fraction Volumique pour la nanoparticule ($\varphi = 0$ (eau pure), $\varphi = 0.1$, $\varphi = 0.04$) pour le nano fluide (eau-CuO), on présente les résultats dans la distribution de température et la vitesse.

Et on effectuées notre simulation numériques pour différentes nano fluides ((eau-CuO),(eau-TiO₂),(eau-Ag)) pour illustre clairement les graphes concernant le nombre Nusselt ainsi les résultats du nombre de Nusselt , la variation du coefficient de transfert en fonction de nombre de Reynolds.

V.3.1. Résultats pour le nano fluide (eau-CuO) avec différentes fractions volumique ($\varphi = 0, \varphi = 0.1, \varphi = 0.04,$) et un nombre de Reynolds $R_e = 200$

On peut remarquer par rapport à la température qu'un changement de fraction se produit une amélioration du processus de refroidissement car les températures sont plus basses par rapport ($\varphi = 0.1, \varphi = 0.04$) à l'inverse par rapport ($\varphi = 0$) voir les figure (V.3) jusqu'à (V.7), (en fonction de $R_e = 200$).

Quant à la vitesse, on note que la vitesse de refroidissement du micro canal s'améliore énormément, coïncidant avec une augmentation des fractions volumique. Où la vitesse plus élève par rapport ($\varphi = 0.1, \varphi = 0.04$) à l'inverse par rapport ($\varphi = 0$) voir les figures (V.8) jusqu'à (V.10), (en fonction de $R_e = 200$).

De cela, nous concluons que le changement de fraction ou l'augmentation de la quantité de nanoparticule dans le fluide de base qui responsable du processus de refroidissement ce qui mène l'augmentation de conductivité de fluide de base, ce qui se traduit par un bon processus de refroidissement.

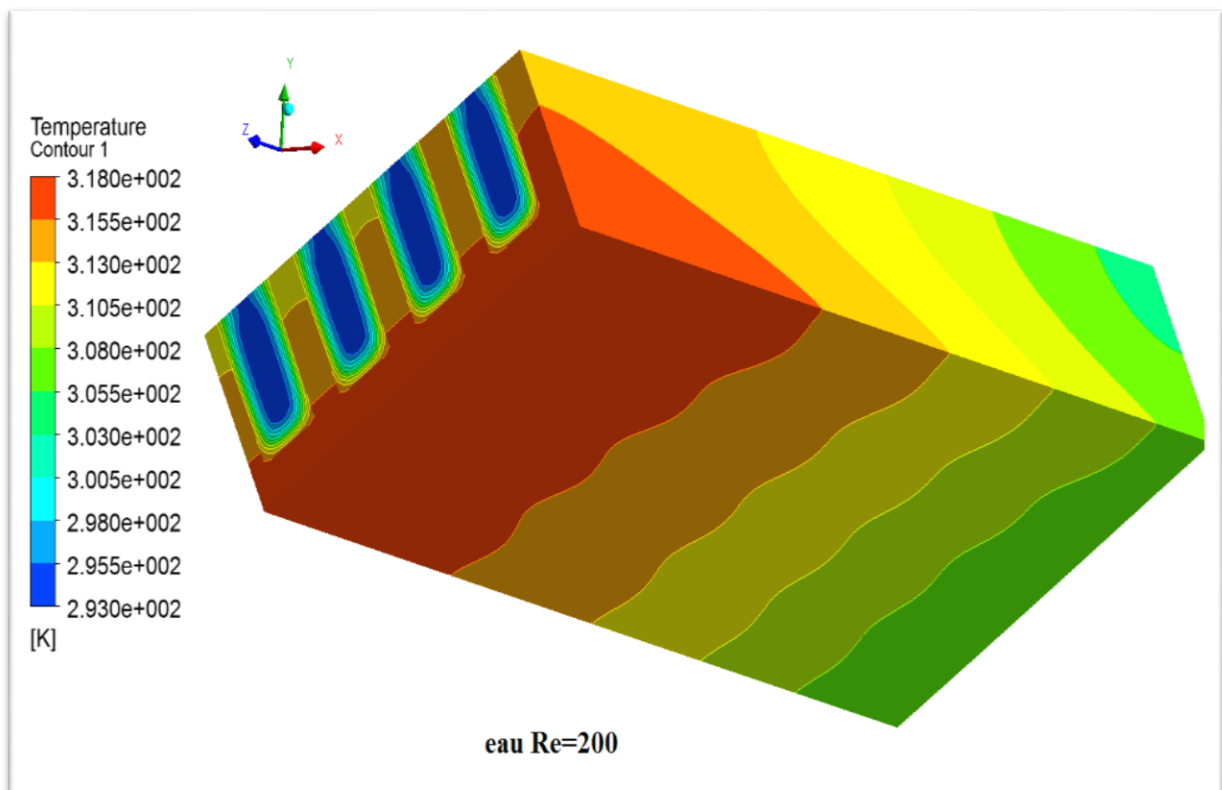


Figure V.3 : Présentation de la distribution de température pour $\varphi = 0$ (eau pure) $R_e = 200$.

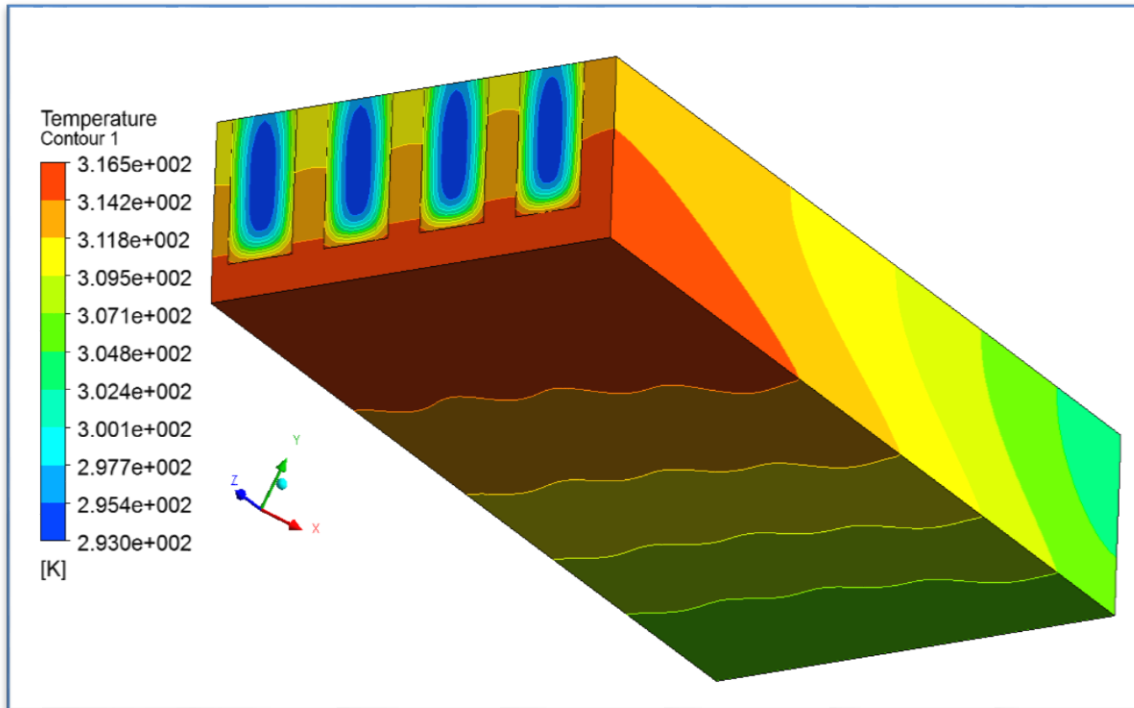


Figure V.4 : Présentation de la distribution de température pour $\varphi = 0.1$ (eau – CuO) $Re = 200$.

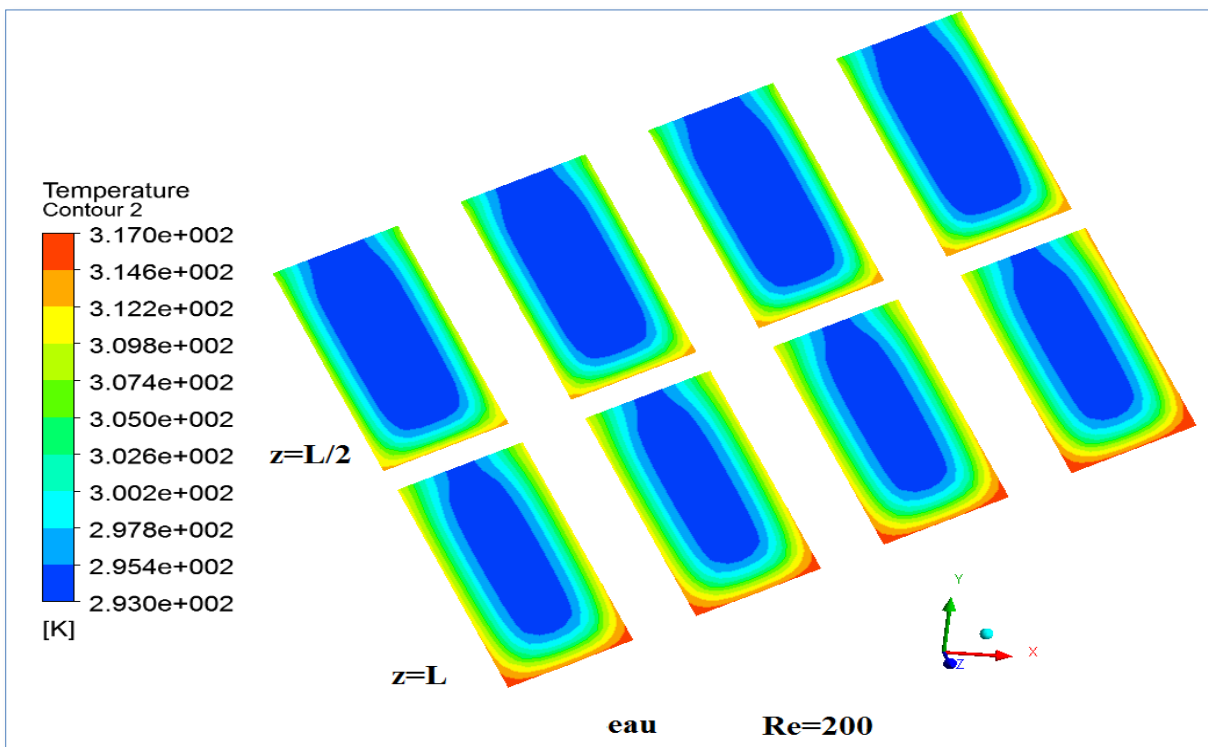


Figure V.5 : Présentation de la distribution de température pour des sections transversales pour $\varphi = 0$ (eau pure) $Re = 200$.

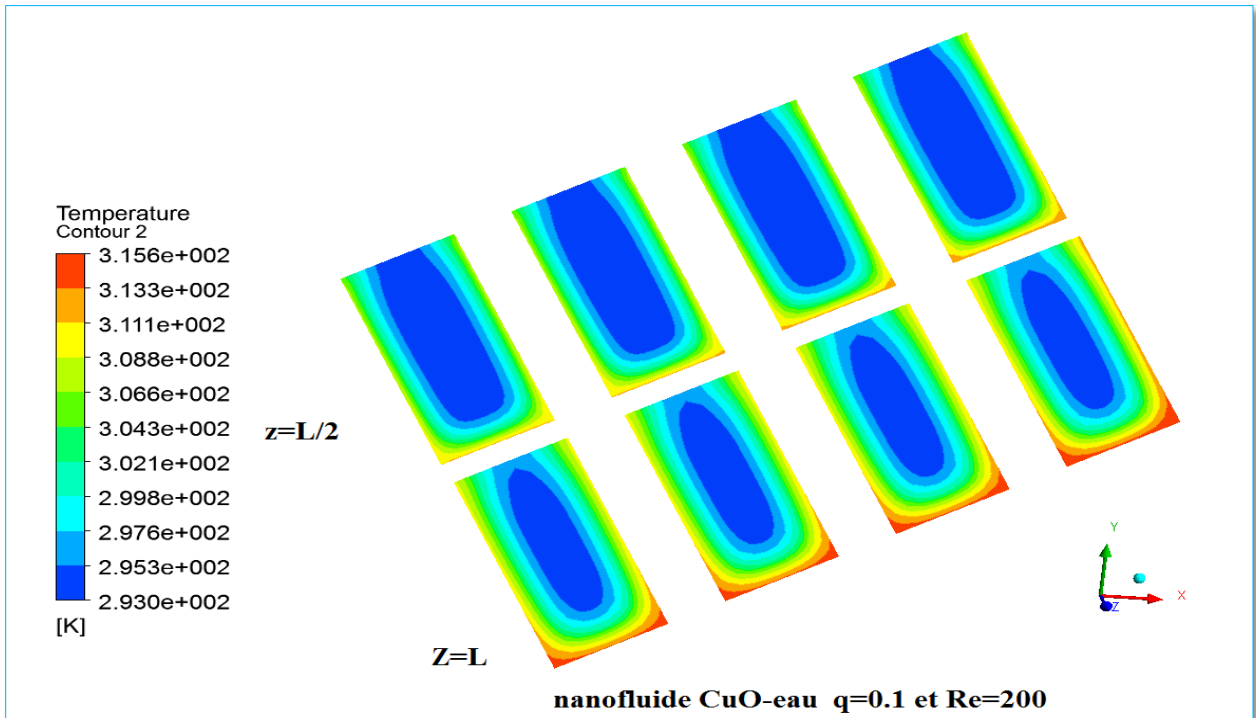


Figure V.6 : Présentation de la distribution de température pour des sections transversales pour $\varphi = 0.1$ (eau – CuO) $Re = 200$.

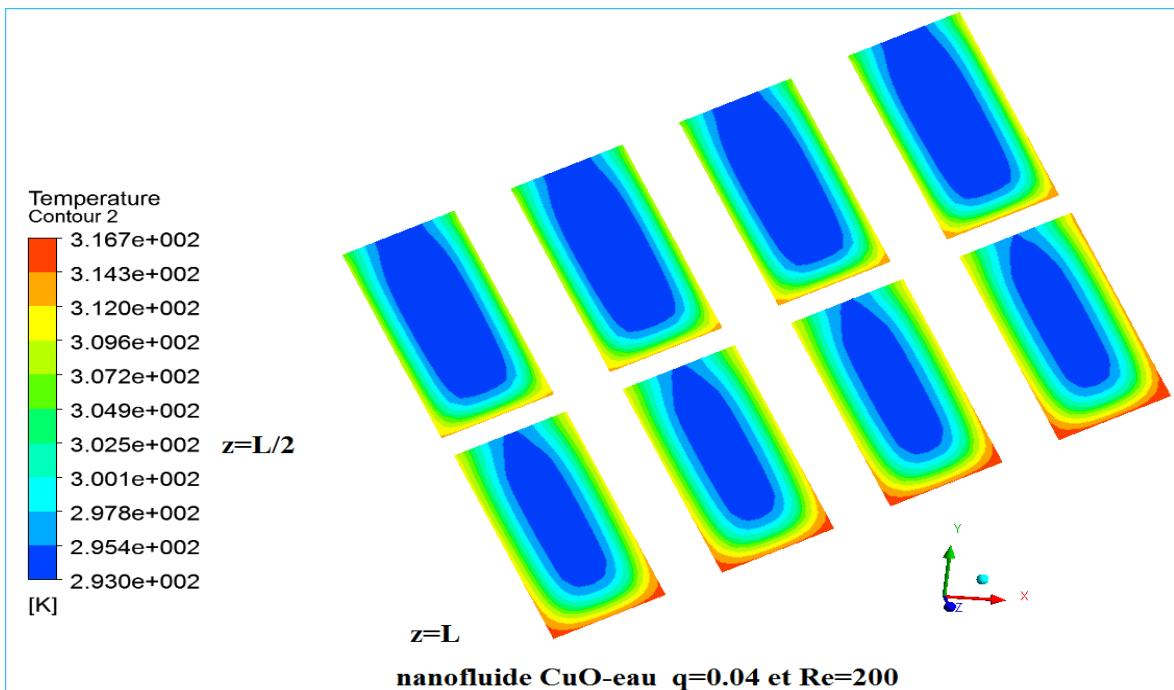


Figure V.7: Présentation de la distribution de température pour des sections transversales pour $\varphi = 0.04$ (eau – CuO) $Re = 200$.

V.2.1.3. Présentation du profil de la vitesse dans les sections du canal :

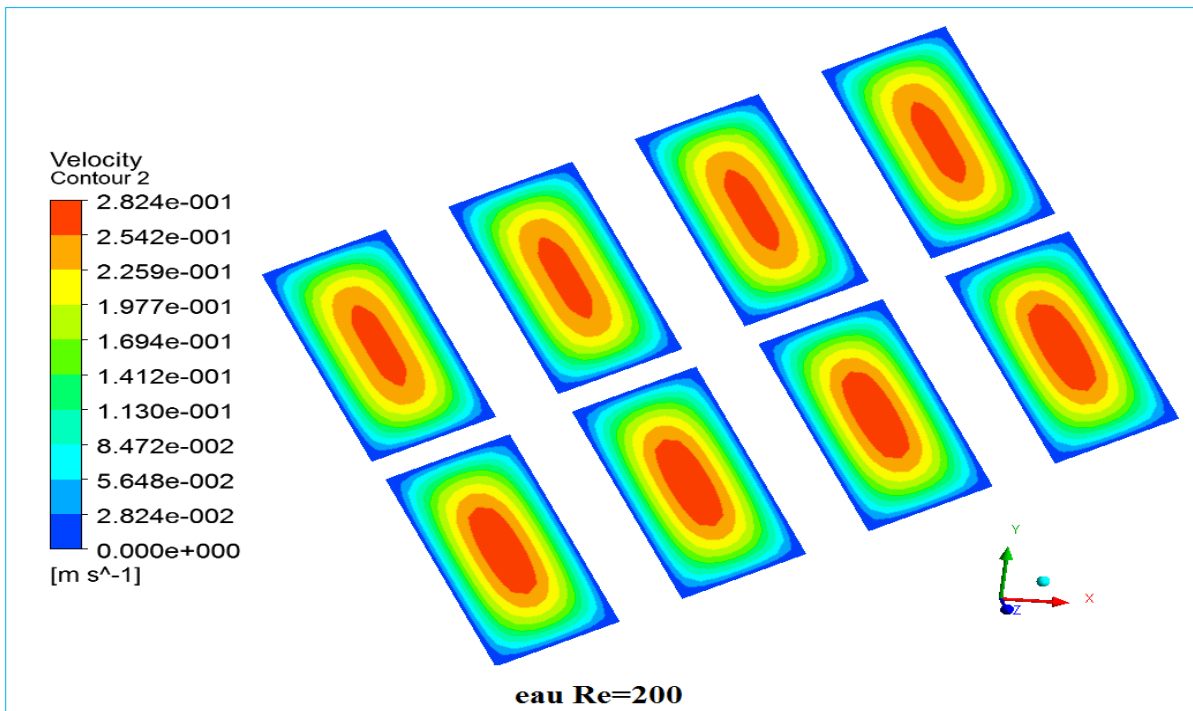


Figure V.8 : Présentation de la distribution du profil de la vitesse dans des sections transversales pour $\varphi = 0$ (eau pure) $Re = 200$.

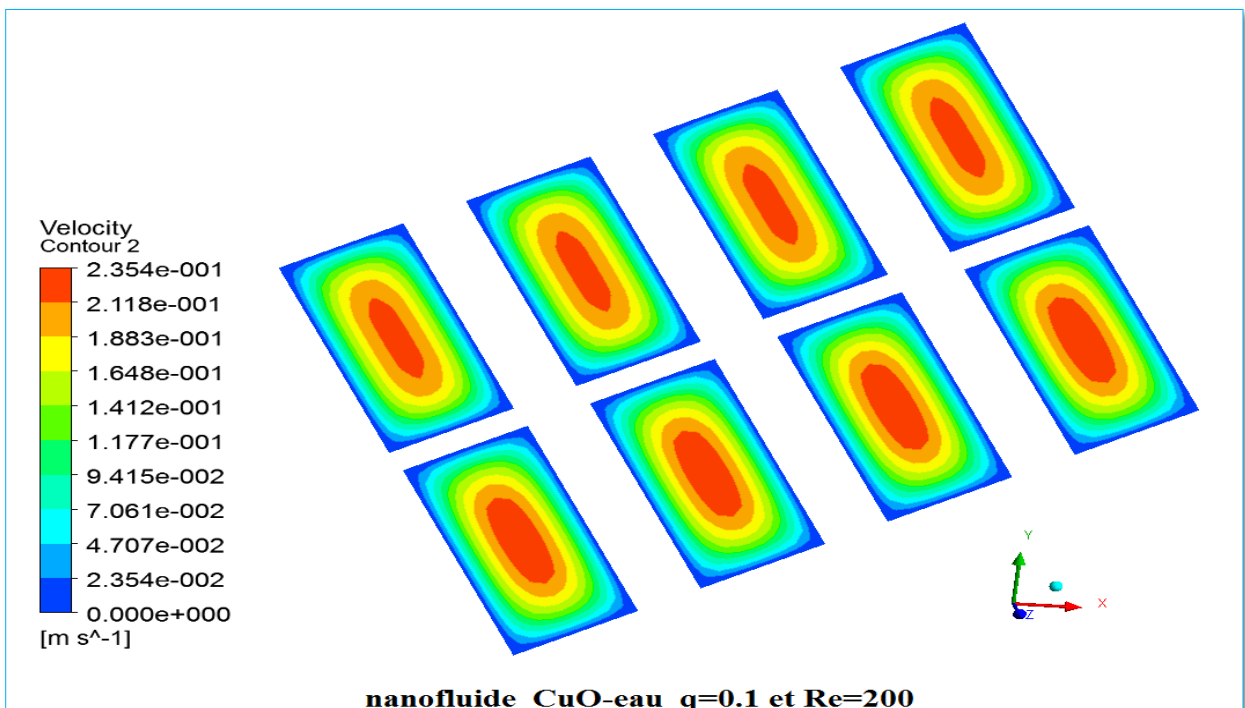


Figure V.9 : Présentation de la distribution du profil de la vitesse dans des sections transversales pour $\varphi = 0.1$ (eau – CuO) $Re = 200$.

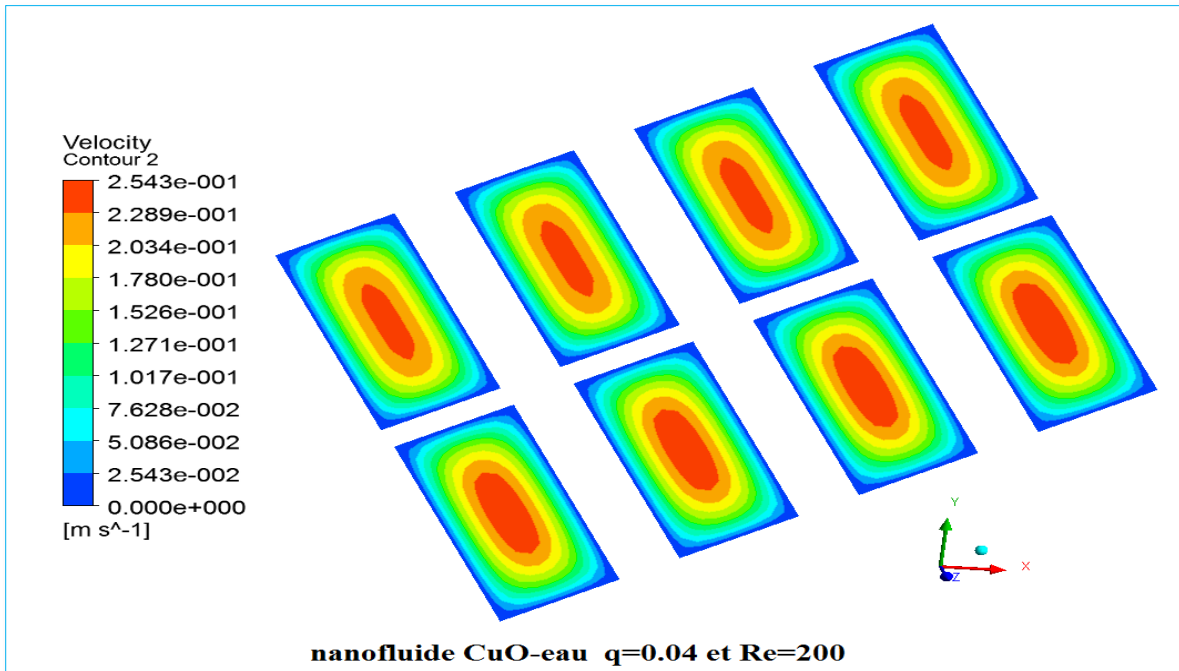


Figure V.10 : Présentation de la distribution du profil de la vitesse dans des sections transversales pour $\phi = 0.04$ (eau – CuO) $Re = 200$.

V.3.2. Présentation des résultats du coefficient d'échange pour trois types de nano fluide:

On remarque une augmentation de variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano fluides pour différents Reynolds, coïncidant avec une augmentation du rapport de Reynolds pour les trois nano fluides ((eau-CuO), (eau-TiO₂), (eau-Ag)), car la progression pour les trois nano fluides est la même voir la Figure (V.11).

On remarque une augmentation de nombre de Nusselt, coïncidant avec une augmentation du rapport de Reynolds pour les trois nano fluides ((eau-CuO), (eau-TiO₂), (eau-Ag)), car la progression pour les trois nano fluides est la même voir le Figure (V.12).

De là, nous concluons qu'une augmentation de nombre de Reynolds se traduit par une amélioration et une augmentation de (nombre de Nusselt moyen et du coefficient de transfert thermique moyen) ce qui signifie Renforcer les changes thermiques, et en retour, nous concluons qu'une modification du nano fluide ne limite aucune différence dans le processus de refroidissement.

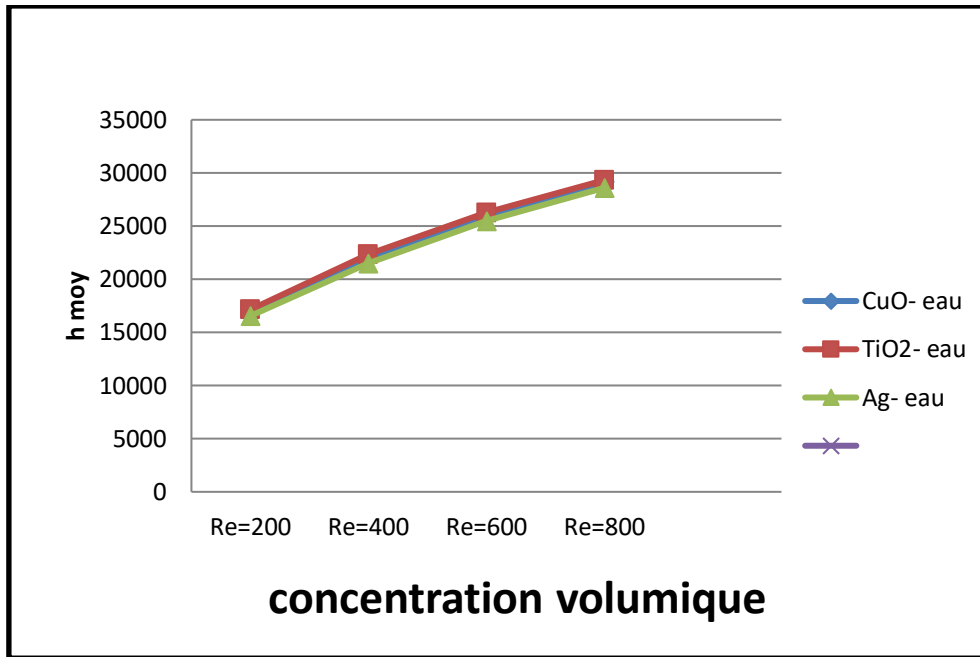


Figure V.11 : Variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano fluides pour différents Reynolds.

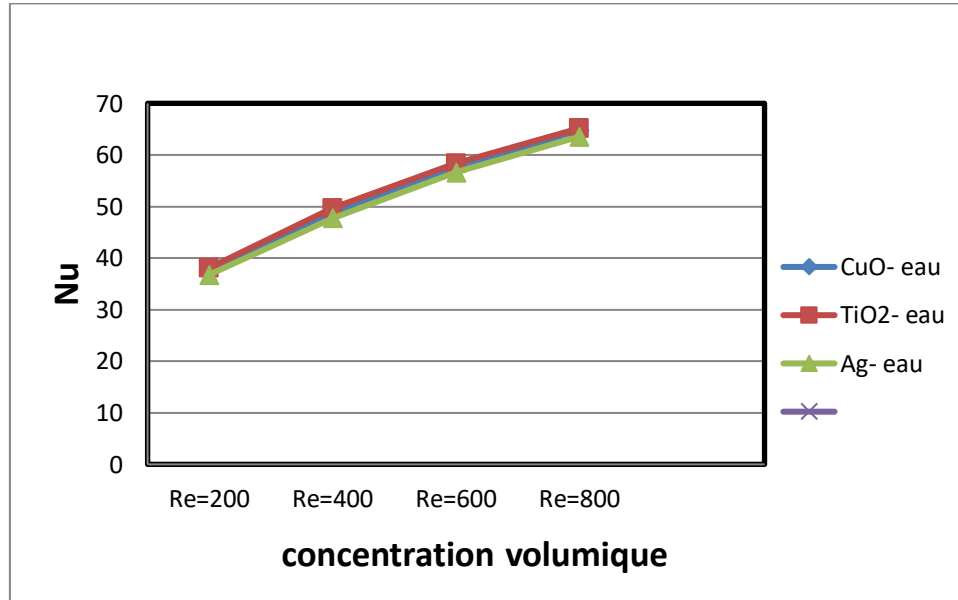


Figure V.12 : illustration du nombre de Nusselt moyen en fonction les nano fluides pour différents Reynolds

V.4. Conclusion :

Nous avons présenté un ensemble de résultats de notre étude obtenus par le logiciel de la simulation numérique ANSYS WORKBENCH, version 2019 qui permettent d'obtenir ces résultats numérique, graphique et d'en exprimer de toutes parts (thermiquement et dynamiquement), le problème que nous étudions est de la convection dans des micro canaux incline et présentons les résultats tels que la distribution de température et profil de vitesse, nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds ainsi en fonction des fractions volumiques des nano fluides .

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce travail de mémoire nous avons mené une étude théorique et numérique en vue de quantifier l'importance du transfert convectif de chaleur dans des microcanaux inclinés. L'analyse et le calcul numérique, est menée en 3 dimensions.

Le problème a été abordé selon une approche numérique, basée sur la méthode des volumes finis en utilisant un logiciel CFD (ANSYS Workbench version 2019), l'ensemble des recherches et les travaux en voie de développement concernant la technique de refroidissement en utilisant les propriétés thermo-physiques des nano fluides et de leur utilisation comme fluide caloporteur dans les systèmes énergétiques.

Cette étude a été décomposée en cinq chapitres, dont les fondamentales conclusions sont reprises ci-dessous :

- ✓ La première partie présente les recherches bibliographiques antérieures dans ce domaine de recherche qui est la nanotechnologie.
- ✓ En se reposant dans la partie suivante avec une brève description de la modélisation thermo-physique des nano fluides.
- ✓ En se reposant ensuite dans cette étape, la modélisation mathématique de convection dans les micros canaux inclinés et trouve une présentation des équations d'écoulements des nano-fluides, ainsi que les conditions ou limites qui s'appliquent sur cette opération.
- ✓ Après la création de la géométrie, maillage et condition aux limites par le logiciel ANSYS Workbench, on a terminé par les procédés de calcul, les résultats graphiques de la simulation sont présentés pour différentes fractions volumiques et nano fluides.
- ✓ L'étude a consisté à faire varier la fraction volumique dans un premier cas, pour le nano fluide (eau-CuO) et de voir l'influence de ces paramètres sur les champs de température et champs de vitesses
- ✓ En deuxième cas on fait varier les nano fluides (CuO-eau, TiO₂-eau et Ag-eau) et de voir l'influence de ces paramètres sur le nombre de Nusselt moyen et le coefficient d'échange thermique.
- ✓ On peut conclure enfin l'augmentation des échanges thermiques doit être lors de l'augmentation de fraction volumique. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de fraction donne une amélioration dans le refroidissement des microcanaux (la température et la vitesse), et l'augmentation de nombre de Reynolds (qui entraîne l'augmentation du transfert de chaleur) mène à l'évolution de nombre de Nusselt moyen (qui caractérise le flux de chaleur transféré au sein du canal) et variation du coefficient de transfert thermique moyen.

Bibliographique

Bibliographique :

[1] **Hector Alvarado, Florent Dizes, Astrid Molinier** ‘Refroidissement de composants électroniques à l'aide du logiciel Open FOAM’.

[2] **Lounes Benkezim** ‘Simulation numérique de la convection naturelle d’un nano fluide dans une cavité rectangulaire», mémoire de magistère, Université Mohamed Bougara-Boumerdes 2013.

[3] **Abdelhamid Bouhelal, Saci Lebbihi, Naoufel Benrachi, Arezki Smaili** ‘Simulation de la convection naturelle autour d'une source de chaleur localisée au fond d'une enceinte remplie de nano fluide’, Conférence de CFD & Tech CRND-Draria, Alger 02 -03 Mai 2016.

[4] **Mohammed Adjim** ‘Modélisation TLM du transfert thermique dans les micros canaux’ Thèse de Doctorat d’état UNIVERSITÉ ABOU BEKER BELKAID DE TLEMCEM 2007.

[5] **Charef Khodja Nabila** ‘Etude Numérique Des Ecoulements Dans Les Micro canaux’ mémoire de Magistère en Physique, Université El-Hadj Lakhdar, Batna 2009.

[6] **Salma Halefadi** ‘Caractérisation des propriétés thermo-physiques et échanges de chaleur des nano fluides `a base de nanotubes de carbone ‘Génie mécanique [physics.class-ph]. INSA de Rennes, Français 2014.

[7] **REZAIGUIA Issam** ‘Investigation des échanges convectifs dans diverses configurations’ Thèse de Doctorat en Sciences en Génie, Mécanique, Université Constantine 2014.

[8] **LEBBIHI Saci** ‘Refroidissement par convection naturelle d’une source de chaleur localisée au fond d’une enceinte remplie de nano fluide ’ mémoire de MASTER, université Mohamed Khider Biskra 2014.

[9] **Amrid MAMMERI** ‘Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriels: Application aux serveurs informatiques’ Thèse de docteur délivré par École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l’Ingénieur 2014.

Bibliographique

[10] **Talbi Elnadhir** ‘Etude numérique de la convection autour des composants électroniques montés entredeux plaques planes verticales en présence d’un nano fluide’ mémoire de Master’ Université Mohamed Khider, Biskra 2016.

[11] **KROUMA Saadia** ‘Influence de la géométrie des nanoparticules dans un nano fluide sur le transfert thermique ’ mémoire de MASTER, Université Mohamed Khider, Biskra 2017.

[12] **BELAHMADI Essma** ‘ Etude numérique des transferts thermiques convectifs avec nano-fluides’ Thèse de Doctorat en Sciences en Génie Mécanique, Université des Frères Mentouri, Constantine 2018.

[13] **ABDEDDAIM Amel** ‘Gestion des échanges thermiques composante électronique’ mémoire de Master, Université Mohamed Khider, Biskra 2019.

[14] <https://www.techniques-ingenieur.fr/basdocumentaire/innovationth10/nanotechnologies-pour-l-energie-l-environnement-et-la-sante-42514210/nanofluides-pour-les-applications-thermiques-nm5115/> (consulté le 10 /6/2020).

[15] **Asma LAMRI ZEGGAR** ‘Contribution à l’Etude Théorique des Transferts Thermiques Convectifs dans un Nano fluide. Application aux Modèles Monophasique et Diphasique’ mémoire de magister, Université de Frères Mentouri 2014.

[16] **FOHANNO Stéphane et al** ’ Nano fluides et transfert de chaleur par convection naturelle’, thèse université de Reims Champagne-Ardenne, France 2012.

[17] **Etude financée par Normandie AeroEspace** ‘Dissipation thermique dans les composants/systèmes électroniques’ Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg.

[18] [John Pr. Thom R, Micro channel Tow phases cooling 3D-IC’s p8,] publication 2010.

[19] Solution de Dissipation thermique Pour LEDs de puissance Gamme2013 r3, BCF MKM Matériel Thermique et Electronique, <http://www.bcfmkm.fr> (consulté le 11/7/2020).

[20] **Amrid MAMMERI** ‘Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriels : Application aux serveurs informatiques’, thèse Doctorat Paris Tech, l’École Nationale Supérieure d’Arts et Métiers, Paris, 2014.

Bibliographique

[21] **Charles Garnier** ‘Modélisation numérique des écoulements ouverts de convection naturelle au sein d’un canal vertical asymétriquement chauffé’ Thèse de doctorat 2014.

Annexes

Annexes

Annexe A : Programme de calculer les paramètres du nano fluide (eau-CuO)

```
% -----  
-----  
% Ce programme pour calcule les propriétés thermophysique d'un  
nanofluide  
% conductivité thermique, viscosité dynamique, masse  
volumique, chaleur  
% massique et coefficient d'expansion volumique et après  
enregistre les  
% resultats dans un fichier 'propriété_nanofluide.txt.'  
% -----  
-----  
clearall;% Effacer les variables présidents  
clc;% Effacer l'écran  
%-----  
-----  
% PARTIE (1): LES ENTRES DU PROGRAMME  
%-----  
-----  
disp('-----  
-----')  
phi=input('ENTREZ LA FRACTION VOLUMIQUE =');  
disp('-----  
-----')  
ks=20;  
kf=0.593;  
n=6;  
Uf=1.002e-3;  
rhos=6450;  
rhof=998.2;  
B=0.01;  
cps=561;
```

Annexes

```
cpf=4181.8;
Bs=18e-6;
Bf=210e-6;
%-----
% PARTIE (2): CALCULES LES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES DE
NANOFLUIDE
%-----
% CALCULE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE
% MODELE DE MAXWELL (1873)
knf1=((ks+2*kf+2*(ks-kf)*phi)*kf)/(ks+2*kf-(ks-kf)*phi);
% MODELE DE HAMILTON ET CROSSER (1962)
knf2=((ks+(n-1)*kf-(n-1)*(kf-ks)*phi)*kf)/(ks+(n-1)*kf+(kf-
ks)*phi);
% MODELE YU ET CHO
knf3=((ks+2*kf+2*(ks-kf)*((1+B)^3)*phi)*kf)/(ks+2*kf-
(ks+kf)*((1+B)^3)*phi);
%-----
% CALCULE LA VISCOSITE DYNAMIQUE
% MODELE D'EINSTEIN (1906)
Unf1=Uf*(1+(2.5*phi));
% MODELE DE BRINKMAN (1952)
Unf2=Uf/((1-phi)^2.5);
%-----
% CALCULE LA MASSE VOLUMIQUE
rhonf=(1-phi)*rhof+(phi*rhos);
%-----
% CALCULE LA CHALEUR MASSIQUE
% MODELE DU PAK ET CHO (1998)
cpnf1=(1-phi)*cpf+(phi*cps);
```

Annexes

```
% MODELE DU XUAN ET ROETZEL
```

```
cpnf2= ((1-phi) * (rhof*cpf) + phi * (cps*rhos)) / rhonf;
```

```
%-----
```

```
-----
```

```
% CALCULE LE COEFFICIENT D'EXPANSION VOLUMIQUE
```

```
Bnf= (1-phi) *Bf+ (phi*Bb);
```

```
%-----
```

```
-----
```

Résumé

Ce mémoire présent un calcul de la simulation de la convection naturelle laminaire dans un microcanal incliné tridimensionnelle dans le but de comparer l'effet de la fraction volumique des nanoparticules dans le fluide (eau-CuO) pour ($\phi = 0, \phi = 0.1, \phi = 0.04$) sur la distribution des vitesses et de température, ainsi une étude comparative des trois nanofluides ((eau-CuO),(eau-TiO₂),(eau-Ag)) sur la variation du nombre de Nusselt moyen et du coefficient de transfert thermique moyen en fonction du nombre de Reynolds, pour cette étude on a utilisé un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench (version 2019), dont les résultats obtenus ont montré que l'augmentation de la fraction volumique provoque une amélioration de l'échange thermique dans le Processus du refroidissement par convection.

ملخص

تقدم هذه الدراسة حساباً لمحاكاة الحمل الطبقي الطبيعي في قناة صغيرة مائلة ثلاثية الأبعاد من أجل مقارنة تأثير الجزء الحجمي للجزيئات الدقيقة (نانو) في السائل (الماء-أكسيد النحاس) من أجل تراكيز مختلفة من أكسيد النحاس وتأثيره على توزيع السرعات ودرجة الحرارة ودراسة أيضاً مقارنة الموائع النانوية الثلاثة ((الماء-أكسيد النحاس) و (الماء-الفضة) و (الماء-أكسيد التيتانيوم)) على التباين في متوسط عدد نسلت ومتوسط معامل انتقال الحرارة بدلالة رقم رينولدز وفي هذه إصدار 2019 واهضت النتائج إن الزيادة في ANSYS Workbench الدراسة استخدمنا برنامج المحاكاة رقمية الكسر الحجمي تؤدي إلي تحسن في التبادل الحراري في عملية التبريد بالحمل الحراري.

Abstract

This study presents a calculation of the simulation of natural laminar convection in a three-dimensional inclined microchannel in order to compare the effect of the volume fraction of nanoparticles in the fluid (water-CuO) for ($\phi = 0, \phi = 0.1, \phi = 0.04$) on the distribution of velocities and temperature, and a comparative study of the three nanofluids ((water-CuO), (water-TiO₂), (water-Ag)) on the variation of the mean Nusselt number and of the mean heat transfer coefficient as a function of the Reynolds number, for this study we used an ANSYS Workbench numerical simulation software (version 2019), the results of which showed that the increase in the volume fraction causes an improvement in the heat exchange in the process of convection cooling.